



مقدمة في
التأريخ للأرض ودراسة طبقاتها

الدكتور / حسني حمدان الدسوقي حمامة
أستاذ الجيولوجيا المساعد
قسم الجيولوجيا - كلية العلوم
جامعة قطر

لجنة التعريب جامعة قطر
١٤٢١هـ - ٢٠٠٠م

٥٥١,١ حسني حمدان الدسوقي حمامة
مقدمة في التأريخ للأرض ودراسة طبقاتها/ حسني
حمدان الدسوقي حمامة. -- الدوحة : لجنة التعريف
بجامعة قطر، ٢٠٠٠
٣٤٦ ص : إيض؛ ٢٨ سم

رقم الايداع بدار الكتب القطرية : ٦٥ / ٢٠٠٠ .

رقم الايداع بدار الكتب القطرية
٦٥ / ٢٠٠٠م





اسم الجلالة (الله) متكوناً بخط عربي واضح بعرق
من البازلت على لوحة خلفية من صخور النيس.

(جبل مجـفا – وادي زغرة جنوب سيناء)

بسم الله الرحمن الرحيم

قوله تعالى ﴿ قُلْ أَئِنَّكُمْ لَتَكْفُرُونَ بِالَّذِي خَلَقَ الْأَرْضَ فِي يَوْمَيْنِ وَتَجْعَلُونَ لَهُ أَندَادًا ذَٰلِكَ رَبُّ الْعَالَمِينَ (٩) وَجَعَلَ فِيهَا رَوَاسِيَ مِن فَوْقِهَا وَبَارَكَ فِيهَا وَقَدَّرَ فِيهَا أَقْوَاتَهَا فِي أَرْبَعَةِ أَيَّامٍ سَوَاءً لِّلسَّائِلِينَ (١٠) ثُمَّ اسْتَوَىٰ إِلَى السَّمَاءِ وَهِيَ دُخَانٌ فَقَالَ لَهَا وَلِلْأَرْضِ ائْتِيَا طَوْعًا أَوْ كَرْهًا قَالَتَا أَتَيْنَا طَائِعِينَ (١١) فَقَضَاهُنَّ سَبْعَ سَمَاوَاتٍ فِي يَوْمَيْنِ وَأَوْحَىٰ فِي كُلِّ سَمَاءٍ أَمْرَهَا وَزَيَّنَّا السَّمَاءَ الدُّنْيَا بِمَصَابِيحَ وَحِفْظًا ذَٰلِكَ تَقْدِيرُ الْعَزِيزِ الْعَلِيمِ (١٢) ﴾

صدق الله العظيم

سورة فصلت - الآيات (٩-١٢)

إهـــــداء

أهدي هذا الكتاب إلى زوجتي الوفية التي كانت وما تزال نعم العـون لي في مشوار حياتي العلمية سائلاً الله أن يجزيها عني خير الجزاء.

المؤلف

د. حسني حمـــدان الدسوقي حمامـــة

الدوحة – غرة ربيع الأول ١٤١٨هـ

شُكر

أتوجه بالشكر لله تبارك وتعالى أولاً الذي وفقني لوضع هذا الكتاب. آمل أن يكون مفيداً لأبنائي الطلاب وللمتخصصين في دراسة علمي التأريخ للأرض ودراسة طبقاتها. والشكر موصول لجامعة قطر ولكافة المسئولين فيها وأخص بذلك كلاً من **السيد الدكتور / عبدالله بن صالح الخليفي** – مدير جامعة قطر **والأستاذ الدكتور / إبراهيم صالح النعيمي** – مدير الجامعة «سابقا» – ، **وسعادة الدكتور / عبدالله حسين الكبيسي** – عميد كلية العلوم ، **وسعادة الدكتور / حميد عبدالله المدفع** – مدير مركز البحوث العلمية والتطبيقية ومقرر لجنة التعريب بالجامعة ، **وسعادة الأستاذ الدكتور / ثروت أحمد عبدالفتاح** – رئيس قسم الجيولوجيا ، الذين أتاحوا لي فرصة الإسهام في التأليف باللغة العربية الأم .

كما أتوجه بالشكر إلي كل من الجيولوجي **الأستاذ / النعيم علي العبيد**، لما قدمه من جهد مشكور على لمساته الفنية الطيبة في إخراج الكتاب بشكل جيد . **والأستاذ / أحمد عبدالعزيز إبراهيم** المصور العلمي بمركز تكنولوجيا التعليم لما قام به من مجهود رائع في تصوير الأحافير واللوحات المستخدمة في هذا الكتاب .

مقدمــة

تبلورت فكرة هذا الكتاب من خلال تدريسي لمقررات علوم التأريخ للأرض بكلية العلوم والتربية. ولذا فقد راعيت عند تأليف الكتاب أن يخدم عدة مقررات قمت بتدريسها فعلاً.

ولقد حاولت بتوفيق من الله أن يكون كل فصل من فصول الكتاب موجزاً وفي نفس الوقت مكتملاً وشاملاً ، ومزوداً بعدد لابأس به من الرسومات التوضيحية والجداول وصور الأحافير ذات الأهمية الطِباقية، كما حرصت على استخدام الترجمة المعبرة للمصطلحات العلمية مع كتابتها بلغتها الأصلية.

ويقع الكتاب في ثلاثة أقسام ، يختص القسم الأول منها بدراسة المباديء العامة لعلمي التأريخ للأرض وأسس دراسة طبقاتها ، وقد نوقشت من خلاله النظرة العامة حول الأرض والكون، وطبيعة السِجل الأرضي وكيفية قراءته، ومقياس الزمن الأرضي ، وأساسيات تقدير الأعمار النسبية للصخور، وألواح الغلاف الصخري للأرض والألواح البنائية والدورات الأرضية وأخيراً السِحنات والتحليل السِحني.

ويمثل القسم الثاني من الكتاب أهمية خاصة في دراسة طبقات الأرض عالجت فيه المفهوم العام للطِباقية، والحدود الفاصلة بين طبقات الأرض وقواعد تسمية الوحدات الطباقية ، وذكرت في بسط سهل أُسس وخواص الطِباقية الصخرية والحياتية والزمنية وتطبيقاتها في عملية المضاهاة وغيرها من المجالات المفيدة ، وأوردت في نهاية هذا القسم من الكتاب باباً خاصاً عن الطرق الطِباقية وتحليل الأحواض الترسيبية آمل أن يفيد الطالب في مجال الدراسات الحقلية وإعداد الخرائط الطِباقية.

ويتناول القسم الثالث نظرة موجزة عن أزمنة الأرض وأهم خصائصها، وقد زود هذا القسم بصور لبعض الأحافير المميزة لكل عصر من عصور

الأرض، واختتم الكتاب بباب عن ازدهار وهلاك الكائنات يرد الأفكـــار المتعلقـــة بالتطور إلى قاعدة أو قانون الإماتة والإحياء. ولسوف أستكمل دراســـة السِـجل الأرضي ومعالم الحياة عبر الزمن. التفصيل في كتاب لاحق إن شاء الله.

وفي ثنايا الكتاب حاولت الربط بين الآيات القرآنية والمبـــادئ الأساســية لعلــوم الأرض دون إفتئات على النص القرآني أو الحقيقة العلمية.

المحـــتويـــات

صفحـــة

قائمة بأسماء الجداول الواردة في الكتاب

قائمة بأسماء الملاحظات
الواردة في الكتاب

القسم الأول

أساسيات علمي التأريخ للأرض ودراسة طبقاتها

الفصل الأول

الأرض والكون

- الفلق أو فَتْق الرَتْق
- تكوين المجموعة الشمسية
- نشأة النظام الشمسي



(After NASA, JPl)

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿ أَوَلَمْ يَرَ الَّذِينَ كَفَرُوا أَنَّ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضَ كَانَتَا رَتْقًا فَفَتَقْنَاهُمَا وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ أَفَلَا يُؤْمِنُونَ ﴿٣٠﴾ ﴾

سورة الأنبياء – الآية ٣٠

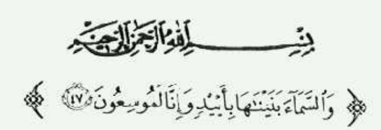
الأرض والكون
(The Earth and The Universe)

موضع الأرض من الكون : تغيرت نظرة الإنسان حول وضع الأرض من الكون في الخمسمائة سنة الماضية من كونها مركز الكون ، إلى اعتبارها كوكباً يدور في فلك الشمس والتي بدورها تمثل إحدى نجوم مجرة درب التبانة التي هي واحدة من مائة بليون مجرة حصاها العلماء في الجزء المدرك لنا من الكون.

والكون فسيح جداً. ولكي نفهم هذه الحقيقة لنا أن نتصور مركبة فضائية تسير حول الكون الحالي بسرعة ١٨٦ر٠٠٠ ميلاً في الثانية الواحدة. إن هذه الرحلة الخيالية سوف تستغرق مائة مليون سنة، يضاف إلى ذلك أن هذا الكون يتسع بإستمرار، حتى أنه بعد فترة زمنية قدرها ١ر٠٠٣ر٠٠٠ر٠٠٠ سنة سوف تتضاف المسافة التي يمتد فيها الكون ! وهكذا لن تستطيع هذه المركبة الفضائية الخارقة في سرعتها الخيالية أن تكمل دورتها حول هذا الكون أبداً، وإنما سوف تواصل مسيرتها في نطاق هذا التوسع الدائم في الكون.

إتساع الكون : تمكن فلكيان أمريكيان من مرصد مونت ويلسون (Mount Wilson Observatory) في كاليفورنيا وهما هوماسون (Humason) وهَبل (Hubble) من دراسة خواص وتوزيع خطوط الطيف للضوء المنبعث من المجَّرات البعيدة عنا على ألواح فوتوغرافية. وقد إكتشفا أن خطوط الطيف للضوء المنبعث من تلك المجّرات البعيدة عنا قد أزيحت ناحية النهاية الحمراء لمنشور تحليل أطياف الضوء وسميت تلك الظاهرة باسم ظاهرة الإزاحة نحو الطيف الأحمر (Red Shift).

وتوصل العالمان إلى وجود علاقـــة طرديـــة بيـــن ســـرعة تراجـــع المجـــرات وكميـــة الحيود الأحمر. ومن هنا ظهر ما يعـــرف بنظريـــة الكـــــون المتســـــع Theory of the Expanding Universe). ونحن بدورنا نشـــير إلـــى أن هـــذه النظريـــة مـــا هـــي إلا حقيقة أشار إليها القرآن منذ أكثر من أربعة عشر قرناً مـــن الزمـــان، حيـــث يقـــول الحـــق تبارك وتعـــالى :



سورة الذاريات – الآية ٤٧.

بداية خلق الكون (أو فَتْق الرَتْق)

(The Begining of the Universe or Fatq-Erratq)



سورة الفلق – الآية ١.

ظهرت حديثاً نظريةٌ عُرفـــت بنظريـــة الانفجـــار العظيـــم (The Big Bang Theory). تفسر كيفية نشأة الكون. ويتلخص فحوى هـــذه النظريـــة فـــي أنـــه منـــذ ١٥ – ١٨ بليونـــاً من السنين الماضية شكل (١) كانت كتلة وطاقة العـــالم منضغطـــة فـــي مكـــان واحـــد ذات حجم صغير جداً مقارنة بحجم الكون الحـــالي، والآن تـــتركز هـــذه المـــادة فـــي المجـــرات التي تتجمع في مجموعات بينها فـــراغ شاســـع

وعلى كل فـــإن حـــدث "**الانفجـــار العظيـــم**" أو **فَتْـــق الرَتْـــق** كمـــا يحســـن التعبـــير عنه بلغـــة القـــرآن الكريـــم يمثـــل إنفجـــاراً غـــير عـــادي، ولربمـــا كـــان يمثـــل الفلـــق الفريـــد الـــذي انبثقـــت منـــه المـــادة والطاقـــة إلـــى الوجـــود بقـــدرة الله الـــذي يقـــــول للشئ كن فيكـــــون.

شكل (١) رسم توضيحي يوضـــح مراحـــل نظريـــة الانفجـــار العظيـــم.
(From Thompson *et al.*, 1995, Fig. 1.6).

ملاحظة رقم (١):

الرَتْقُ والفَتْق

ماذا عن بداية الكـــون ؟

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿ أَوَلَمْ يَرَ الَّذِينَ كَفَرُوا أَنَّ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضَ كَانَتَا رَتْقًا فَفَتَقْنَاهُمَا ﴾ سورة الأنبياء – الآية ٣٠

يحق لنا أن نتوقف عند هذه الآية الكريمة من القرآن الكريم التي تتحدث عن بداية تكوين السماوات والأرض بـــالرتق والفتق، والرتق هو السد وهو ضد الفتق. وقد فسرت الآية على عدة وجوه من بينها الوجوه التالية :

١- السماوات والأرض كانتا شيئاً واحداً ملتزمتين ففصل الله بينهما وجعل السماوات سبعاً والأرضين سبعاً.

٢- كانت السماوات مؤلفة طبقة واحدة ففتقها الله فجعلها سبع سمـــاوات وكذلـــك الأرضـــين كـــانت مُرْتَتِقَـــةً طبقة واحدة ففتقها الله وجعلها ســـبعاً.

٣- أن السماوات كانت رتقاً لا تمطر والأرض كانت رتقاً لا تنبـــت، ففتـــق الســـماء بـــالمطر والأرض بالنبـــات (القرطبي – المجلد الســـادس ص ١٨٧-١٨٨).

وتتفق نظرية "الانفجار العظيم" أو فتق الرتق مع التفســـير الأول للآيـــة ونـــود التـــأكيد علـــى أن مـــدى صحة أو خطأ النظريات المفسرة لبداية الكون تعتمد على مـــدى قربهـــن أو بعدهـــن مـــن فـــهم حقيقـــة الرتق والفتق فتقوى كلما قربت من تلك الحقيقة وتضعف ببعدها عـــن هـــذه الحقيقـــة.

لحظات البداية : يتوقع الفلكيون أن درجة الحرارة عند لحظة الفلق قاربت مائة بليون درجة، وقد هبطت بعد الثانية الأولى من الإنفجار الرهيب إلى ١٠ بليون درجة حيث كانت مادة الكون ممثلة بطاقة إشعاع وإلكترونات. ثم هبطت درجة الحرارة إلى بليون درجة بعد دقيقة ونصف الدقيقة من لحظة الفلق ثم أخذ الكون يبرد ويتسع رويداً رويداً في خلال المليون سنة التي أعقبت لحظة الفلق. ثم أذن الله تعالى لعالمنا في الوجود على شكله الحالي بعد أن هبطت درجة الحرارة إلى عدة آلاف حيث تسبح المجَّرات مبتعدة عن بعضها البعض.

ملاحظة رقم (٢):

طي السماء

وماذا عن النهاية ؟

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿ يَوْمَ نَطْوِي السَّمَاءَ كَطَيِّ السِّجِلِّ لِلْكُتُبِ كَمَا بَدَأْنَا أَوَّلَ خَلْقٍ نُّعِيدُهُ وَعْدًا عَلَيْنَا إِنَّا كُنَّا فَاعِلِينَ ﴿١٠٤﴾ ﴾

سورة الأنبياء – الآية ١٠٤.

يتصور الفلكيون وضعين للكون مستقبلاً وهما (شكل ٢) :

١- العودة إلى البدء و نظام الكون المتذبذب (Oscillating Universe Cosmology) حيث تصبح جاذبية الكون كافية لتجميع المجرات بمعنى آخر أن ينهار النظام الكوني الحالي ويعود إلى حالته الأولى ثم يتسع بعد ذلك ثم يعود ثانية إلى وضعه الأصلي وهلم جراً.

٢- الكون المتسع دائماً وأبداً (Forever-Expanding Cosmology) حيث تصير جاذبية الكون غير كافية وتستمر المجرات في الإنفصال إلى ثقب بارد وأخيراً ينتهي الكون.

وبما أن الخيار بين التوقعين قد تُرك مفتوحاً فإننا نرى أن الكون يتسع ولكنه لا محالة معاد إلى سيرته الأولى، تحقيقاً لقول الخالق (سبحانه وتعالى) :

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿ كَمَا بَدَأْنَا أَوَّلَ خَلْقٍ نُّعِيدُهُ وَعْدًا عَلَيْنَا إِنَّا كُنَّا فَاعِلِينَ ﴿١٠٤﴾ ﴾ صدق الله العظيم.

وفي النهاية الأرض في قبضة الله والسماوات مطويات بيمينه على الوجه الذي يراه سبحانه وتعالى:

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿ وَمَا قَدَرُوا اللَّهَ حَقَّ قَدْرِهِ وَالْأَرْضُ جَمِيعًا قَبْضَتُهُ يَوْمَ الْقِيَامَةِ وَالسَّمَاوَاتُ مَطْوِيَّاتٌ بِيَمِينِهِ سُبْحَانَهُ وَتَعَالَىٰ عَمَّا يُشْرِكُونَ ﴿٦٧﴾ ﴾

سورة الزمر – الآية ٦٧.

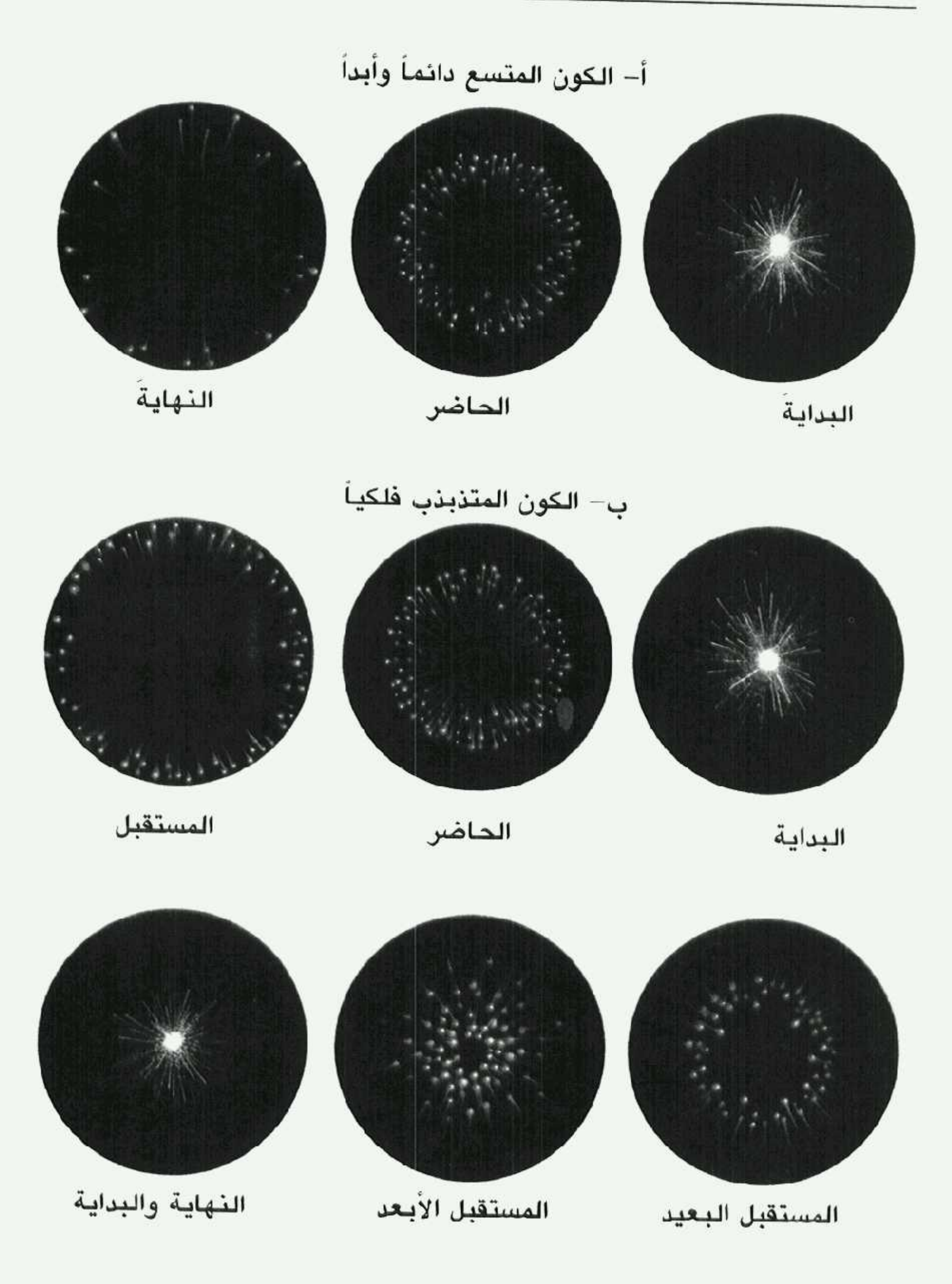
ونخلص من ذلك إلى عدة حقائق :

أولاً : أن السماوات والأرض كانتا رتقاً ففتقهما الله العزيز الحكيم في مشهد عظيم وهو لحظة الفلق.

ثانياً : إن الكون منذ خلقه الله وهو في إتساع مستمر.

ثالثاً : سيعود الكون بمشيئة الله تعالى إلى حالة البداية.

رابعاً : سوف تبدل الأرض غير الأرض والسماوات وسيكون ذلك من مشاهد يوم القيامة.



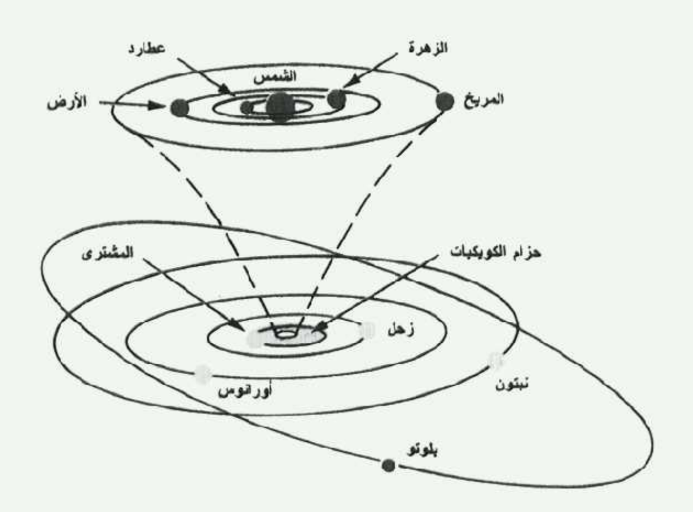
شكل (٢) إيضاح التصور حول كيفية الكون في المستقبل. أ- الكون المتسع دائماً وأبداً ب- الكون المتذبذب.
(Modified after Thompson, Turk and Levin, 1995, page 12 Fig. 1.7)

تكوين المجموعة الشمسية والأرض
(Formation of the Solar Group and the Earth)

نظرة عامة عن المجموعة الشمسية :

في الجدول رقم (١) نورد بعض الحقائق العددية عن النظام الشمسي (Solar System) الذي يمكن إيجاز وصفه فيما يلي :

١- يتكون هذا النظام من الشمس في الوسط ويدور حولها تسع كواكب (شكل ٣) وعدة عشرات من الأقمار ومجموعات من الكويكبات والمذنبات والشهب والأجسام الكونية الأخرى.



شكل (٣) مدارات كواكب المجموعة الشمسية ، حيث يلاحظ أن أغلبها تقع في نفس المستوى.

(After Modified after Montgomery 1993, page 477, Fig. 22.2, Wm. C. Brown Publishers).

٢- تستأثر الشمس بأكثر من ٩٩% من كتلة النظام الشمسي ، وهي نجم مثالي كما أنها أقرب نجم إلى الأرض ويبلغ قطرها ٤٣٢٫٠٠٠ ميلاً (٦٩٥٫٠٨٨ كيلومتراً) وتعتبر متوسطة الحجم وتبلغ درجة حرارتها الداخلية ١٥ مليوناً من الدرجات المطلقة ، بينما تصل حرارتها السطحية إلى ٦٠٠٠ درجة مطلقة ، ويمتد الغلاف الشمسي لمسافة ٩٠٠٠ ميلاً (١٤٫٤٨١ كيلومتراً) حيث يتكون من غازات ساخنة.

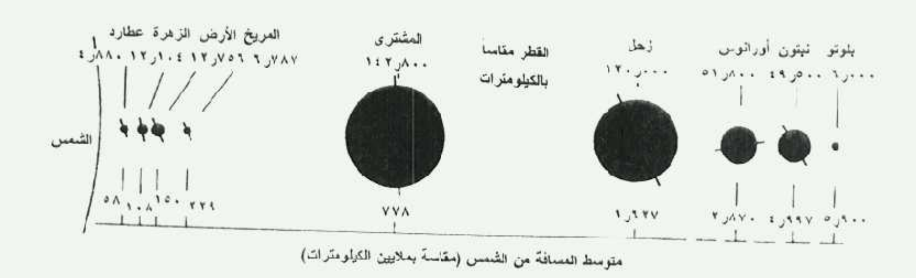
٣– تسير الكواكب في مدارات حول الشمس وتقع في مستوى واحد تقريباً فيما عــدا كوكــب بلوتو (شكل ٤). وتدور جميع الكواكب حول محاورها وفي إتجاه واحد وهو في نفس الوقــت إتجاه دورانها حول الشمس في إتجاه معاكس لإتجاه عقرب الساعة والجدير بالذكر أنــه نفــس إتجاه دوران الإلكترونات حول النواة وإتجاه الطواف حول الكعبة.

٤– تبتعد الكواكب بعضها عن بعض بمسافات منتظمة هندسياً (Geometric Regularity).

٥– تنتظم الكواكب في مجموعتين هما :

أ– الكواكب الداخلية أو الأرضية (Terrestrial Planets) وتضم كواكــب عطــارد والزهرة والأرض والمريخ وتحتوي على نسب كبيرة من السليكات وبعــض الحديــد والنيكل وتشبه لحد كبير كوكب الأرض.

ب– الكواكب الخارجية أو الغازية (Jovian Planets) وتشمل كواكب المشترى وزحل وأورانوس ونبتون وبلوتو. وتتميز بأحجامها الكبيرة وكثافتها القليلة حيث أنها تحتــوي على كميات كبيرة من الغازات.



شكل (٤) نظرة عامة عن النظام الشمسي.

(Modified after Lemon, Roy R., 1993, page 116, Box Figure 7.1, Wm. C. Brown Publishers).

نشأة النظام الشمسي (Origin of Solar System)

نماذج لنظريات قديمة : تعددت الآراء والنظريات حول نشأة النظام الشمسي. وقد ظهرت فــي القرن الثامن عشر وعلى وجه التحديد في عام ١٧٥٥م نظرية الفيلسوف الألمــاني إيمــانويل كانت (Immanuel Kant) الذي إفترض أن النظام الشمسي قد تكون من سحابة غازية ساخنة.

جدول (١): معلومات أساسية عن كواكب النظام الشمسي.

الكوكب	متوسط المسافة من الشمس (ملايين الكيلومترات)	القطر (كم)	الكتلة الأرض=١	الكثافة (جم/سم٣)	عدد الأقمار	فترة الدوران حول محور الكوكب	السنة المداوية	متوسط درجة حرارة السطح (م°)
عطارد	٥٨	٤٨٨٠	٠ر٠٦	٥ر٤٤	–	٥٨ر٦٥ يوماً	٨٨ يوماً	٣٥٠ -١٧٠
الزهرة	١٠٨	١٢ر١٠٤	٠ر٨١	٥ر٢٥	–	٢٤٣ر٠٠ يوماً	٢٢٥ يوماً	٤٧٥
الأرض	١٥٠	١٢ر٧٥٦	١ر٠٠	٥ر٥٢	١	٢٣ساعة و٥٦دقيقة	٣٦٥ر٢٥ يوماً	٢٢
المريخ	٢٢٩	٦ر٧٨٧	٠ر١١	٣ر٩٣	٢	٢٤ ساعة و٣٧ دقيقة	٦٨٧ يوماً	-٢٣
المشتري	٧٧٨	١٤٢ر٨٠٠	٢١٧ر٩	١ر٢٥	١٦	٩ ساعة و ٥٠ دقيقة	١١ر٨٦ سنة	-١٥٠
زحل	١ر٦٢٥	١٢٠ر٠٠٠	٩٥ر٢	٠ر٦٩	١٧-١٩	١٠ ساعات و١٤ دقيقة	٢٩ر٤٦ سنة	-١٨٠
أورانوس	٢ر٨٧٠	٥١ر٨٠٠	١٤ر٦٤	١ر٢٨	١٥	١٠ ساعات و٤٩ دقيقة	٨٤ر٠١ سنة	-٢١٠
نبتون	٤ر٤٩٧	٤٩ر٥٠٠	١٧ر٢٣	١ر٦٤	٨	١٥ر٧ ساعة	١٦٤ر٨٩ سنة	-٢٢٠
بلوتو	٥ر٩٠٠	٦ر٠٠٠	٠ر٠٠٣	٢ر٠٦	١	٦ر٤ يوماً	٢٤٧ر٧ سنة	-٢٣٠

(After Lemon, Roy R., 1993, page 116, Box Table 7.1, Montgomery, 1993, page 476, plate 22.1, and Thompson, Turk and Levin, page 640, Table 23.1).

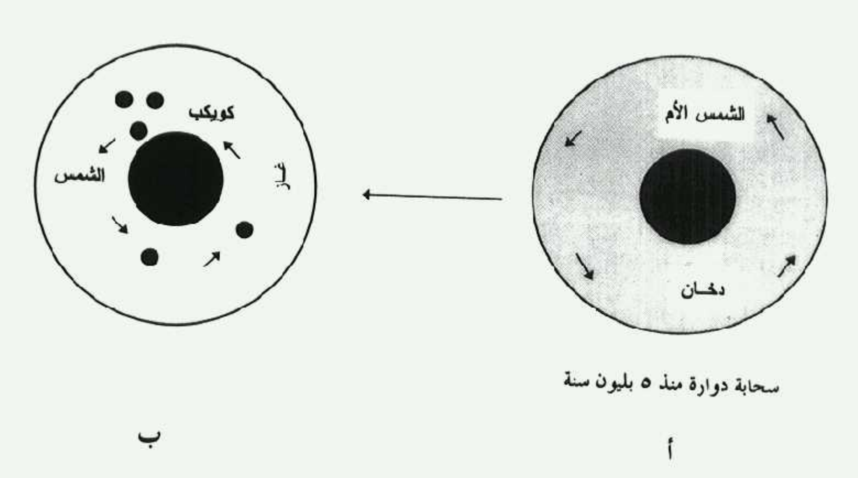
وفي نفس القرن في عام ١٧٩٥م ظهرت نظرية السديم (Nebular Hypothesis) للرياضي الفرنسي بيير لابلاس (Pierre Laplac). وقد إفترض لابلاس أن النظام الشمسي بدأ على هيئة سحابة دائرية باردة كانت تدور حول نفسها ببطء ثم تقلصت تحت تأثير جاذبيتها الذاتية وكونت قرصاً رقيقاً كَون أسلاف الكواكب ، بينما كَون مركز القرص الذي كان منتفخاً نوعاً ما الشمس فيما بعد. وإفترض لابلاس أن السحابة كلما قل حجمها زادت سرعتها حتى قذفت حلقة غازية تجمعت في النهاية لتكون كوكباً. ومع إستمرار تقلص السحابة وإستمرار تزايد سرعتها إنفصلت حلقة ثانية لتكون كوكباً ثانياً ثم تكررت العملية عدة مرات حيث تكونت شمساً مركزية محاطة بعائلة من الكواكب.

وفي عام ١٩٠٠م إفترض الفلكي مولتن (Moulton) والجيولوجي شامبرلين (Chamberlin) أن نجماً قد مر بالقرب من الشمس قام بانتزاع لسان من مادة الشمس

نتيجة لقوى الجذب الشديد بينهما. وعندما ذهب النجم الزائر لحاله بدأ اللسان يتفتت وتكثفت قطراته مُكونةً الكواكب ، وقد عرفت النظرية بنظرية التقابل أو الملاقاة (Encounter Theory).

النظرية الحديثة : وفقاً للنظرية الحديثة مَّر تكوين النظام الشمسي بالمراحل التالية (شكل ٥):

١- قبل قرابة خمسة بلايين من السنين وُجِدَ سديم مكونٌ من سحابة باردة من الغاز المحتوي على بعض الجسيمات الثقيلة (دخان) أخذ يدور بطيئاً حول نفسه حيث كانت درجة حرارته حوالي ٢٧٠٠°. وقد قامت الجاذبية القليلة الناشئة بين مكونات السحابة بتركيز المادة على هيئة كرة. وكلما تركزت المادة كلما زادت سرعة دوران السديم ثم أخذت المادة شكل قرص مركزي تركزت بداخله حوالي ٩٠% من مادة السحابة لتكون الشمس الابتدائية (Protosun).



شكل (٥) تتابع أحداث تكوين النظام الشمسي أ- تكثيف مادة الشمس الأولى وبداية تكوين القرص. ب- إنفجار الجزء المركزي وارتفاع حرارته لدرجة تسمح بحدوث تفاعلات نووية حرارية واصدام الجسميات المتبقية مكونة الكويكبات في مدارات حول الشمس.
(After Cooper *et al.*, 1990, page 192, Figure 7-4, Merrill Publishing Company).

٢- تكون الكواكب الابتدائية وتحولها إلى كواكب: أخذت جسيمات الغبار والغاز المتبقي من القرص الشمسي في الإنفصال إلى أحزمة. وبعد ذلك بدأت مادة الأحزمة تشكل تجمعات صغيرة مثل قطرات المطر وكانت هذه بمثابة الخطوة الأولى في تكون الكويكبات وتحولها

التدريجي إلى الكواكب. وقد أخذت هذه التجمعات في الدوران حول مراكزها وفي نفس الوقت كانت تدور حول اللهب المستدير للسحابة. وعرفت هذه الأجزاء بالكواكب الابتدائية (Protoplanets). والتي أخذت في التكثف التدريجي على هيئة الكويكبات تتكثف في أجسام صلبة كونت فيما بعد الكواكب التي نعرفها الآن.

الملاحظة رقم (٣):

خلق السماوات والأرض في القرآن الكريم

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿ وَجَعَلَ فِيهَا رَوَاسِيَ مِن فَوْقِهَا وَبَارَكَ فِيهَا وَقَدَّرَ فِيهَا أَقْوَاتَهَا فِي
أَرْبَعَةِ أَيَّامٍ سَوَاءً لِّلسَّائِلِينَ ﴿١٠﴾ ثُمَّ اسْتَوَىٰ إِلَى السَّمَاءِ وَهِيَ دُخَانٌ
فَقَالَ لَهَا وَلِلْأَرْضِ ائْتِيَا طَوْعًا أَوْ كَرْهًا قَالَتَا أَتَيْنَا طَائِعِينَ ﴿١١﴾
فَقَضَاهُنَّ سَبْعَ سَمَاوَاتٍ فِي يَوْمَيْنِ وَأَوْحَىٰ فِي كُلِّ سَمَاءٍ أَمْرَهَا
وَزَيَّنَّا السَّمَاءَ الدُّنْيَا بِمَصَابِيحَ وَحِفْظًا ذَٰلِكَ تَقْدِيرُ الْعَزِيزِ
الْعَلِيمِ ﴿١٢﴾ ﴾

سورة فصلت – الآيات ١٠-١٢

٣– تكون الشمس الحالية : في نفس الوقت الذي إنبعثت فيه الكواكب حدثت تغيرات في الشمس الابتدائية فأصبحت أكثر سخونة في مركزها واتحدت أنوية الهيدروجين في لبها بعملية عرفت بالاندماج النووي (Nuclear Fusion) ونتج من جراء ذلك أنوية الهليوم التي اندمجت بدورها في سلاسل متتابعة من العناصر الأكثر كثافة ووزناً ذرياً والأعلى في بنائها الذري. ومن هنا إنطلقت كميات من الطاقة النووية مؤذنة بمولد شمسنا الحالية.

٤– تكون النظام الشمسي الحالي : حينما أصبحت الشمس أكثر سخونة أخذ كثير من الغازات الخفيفة مثل الهيدروجين والهليوم في الاندفاع من داخل النظام الشمسي وتجمعت في المناطق الخارجية المتجمدة ، وفي نفس الوقت كانت الكواكب الابتدائية آخذة في التكثف على هيئة الكواكب التسع المعروفة لنا اليوم، ومنها الكواكب الداخلية (عطارد والزهرة والأرض والمريخ) وهي كواكب صخرية لكل منها لب فلزي، والكواكب الخارجية (وهي المشترى

وزحل وأورانوس ونبتون وبلوتو) وتتكون أساساً من غازات وسوائل متجمدة وقليل من المواد الصخرية ويحتوي لب كل منها على القليل من العناصر الفلزية. ومن العلماء من يرى أن الكوكب الخارجي بلوتو لا يمثل كوكباً حقيقياً، بل يمكن أن يكون قمراً لكوكب لم يكتشف بعد.

وأخيراً يمكن تلخيص الشواهد المؤيدة لصحة النظرية الحديثة لتفسير نشأة النظام الشمسي في الجدول التالي:

جدول (٢) : شواهد مؤيدة للنظرية الحديثة لتكوين النظام الشمسي

المشاهدة	التفسير
كل الكواكب فيما عدا (بلوتو) تدور في مستوى واحد.	كل الكواكب نشأت من قرص مستوي.
كل الكواكب تدور في إتجاه واحد حول الشمس وهو في نفس الوقت إتجاه دوران الشمس حول مركزها.	النظام الشمسي يحتفظ بإتجاه دوران حركة القرص الأصلي.
الكواكب القريبة من الشمس صغيرة الحجم تتكون أساساً من العناصر الثقيلة والكواكب البعيدة عن الشمس كبيرة الحجم تتكون أساساً من عازات خفيفة.	كل الكواكب كانت متجانسة في التركيب ولكن الشمس طردت الغازات الخفيفة بعيداً عن الكواكب القريبة تاركة أغلفة صخرية كثيفة بالقرب منها.
تظهر الآن أقراص منبعجة من الغبار والغاز حول النجوم العديدة التي تتكون الآن.	يعطينا تصوراً عن بداية تكوين المجموعة الشمسية.

الفصل الثاني

السِجل الجيولوجي

- مقدمة
- أهمية الصخور الرسوبية
- السِجل الجيولوجي
- قراءة السجل الطباقي



بسم الله الرحمن الرحيم

﴿ قُلْ سِيرُوا فِي الْأَرْضِ فَانظُرُوا كَيْفَ بَدَأَ الْخَلْقَ ثُمَّ اللَّهُ يُنشِئُ النَّشْأَةَ الْآخِرَةَ إِنَّ اللَّهَ عَلَىٰ كُلِّ شَيْءٍ قَدِيرٌ ﴿٢٠﴾ ﴾

سورة العنكبوت – الآية ٢٠.

السِجل الأرضي
(Geologic Record)

يعالج هذا الموضوع تاريخ الأرض الذي يمثل الزمن فيه المحور الأساسي، ففي ثنايا الزمن تصلبت قشرة الأرض، ونُصبت الجبال، وغُطيت المحيطات بالماء، وتشوهت فيه أحزمة الجبال، وسُطِحَت الأرض، وغُطِيَّت أجزاء منها بالثلوج وخُلِقَت الحياة، وتعاقبت المخلوقات، وشهدت الأرض سلسلة متعاقبة من الكوارث والنكسات. وقد عرفنا أخيراً أن الغلاف الصخري للأرض يتكون من قطع متجاورات تشهد مواقعها تغيراً من آن لآخر.

فمنذ متى بدأ الخلق ؟ وما عمر الأرض التي نسكنها مقارنة بعمر الإنسان الذي خلقه الله في أحسن تقويم ؟ سؤال شغل الأذهان وحير العقول وقد عبر عنه القرآن الكريم في الآية الأولى من سورة الإنسان :

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿ هَلْ أَتَىٰ عَلَى الْإِنسَانِ حِينٌ مِّنَ الدَّهْرِ لَمْ يَكُن شَيْئًا مَّذْكُورًا ﴿١﴾ ﴾

سورة الإنسان.

وتعد الآية هذه مدخلاً طيباً لدراسة تاريخ الأرض بصفة عامة وتاريخ الحياة بصفة خاصة وقد إستخلف الله الإنسان في الأرض بعد أن سخر له ما في الأرض جميعاً. وقد وجدت الأرض وعَمَرتها كائنات شتى قبل خلق الإنسان على الأرض.

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿ وَإِذْ قَالَ رَبُّكَ لِلْمَلَائِكَةِ إِنِّي جَاعِلٌ فِي الْأَرْضِ خَلِيفَةً قَالُوا أَتَجْعَلُ فِيهَا مَنْ يُفْسِدُ فِيهَا وَيَسْفِكُ الدِّمَاءَ وَنَحْنُ نُسَبِّحُ بِحَمْدِكَ وَنُقَدِّسُ لَكَ قَالَ إِنِّي أَعْلَمُ مَا لَا تَعْلَمُونَ ﴾

سورة البقرة – الآية ٣٠.

ويؤكد العلم على أن الأرض قديمة، وعلى أن تاريخها طويل، ولوتصورنا تاريخ الأرض قد إستغرق يوماً واحداً ، فإننا نجد أن الإنسان لم يعمر على الأرض إلا قبل الثوان الأربع والعشرين الأخيرة من ذلك اليوم. ومن الحقائق الهامة التي يجب أن نذكرها دائماً ونحن ندرس تاريخ الأرض أن الأرض كوكب نشط داخلياً وخارجياً، وقد يتبدل سطح الأرض أو جزء منه في ملايين السنين أو في ساعات بل في دقائق أو ثوان معدودة. ولو قورن سطح الأرض بسطح القمر، لوجدنا أن الأخير لم يشهد تغيراً ملحوظاً منذ ما يزيد على ثلاثة ملايين من السنين ولربما تظل آثار أول إنسان هبط على سطح القمر محفوظة لعدة ملايين من السنين القادمة إن شاء الله دواماً للنظام الشمسي.

ويجب أن نعترف أن معلوماتنا عن تاريخ الأرض بالرغم من كثرتها إلا أن هناك الكثير مما غاب عنا. ويمثل السجل الأرضي المسجل في صخورها المرجع في التعرف على تاريخها الطويل، والسجل الصخري يحوي عجائب وأسرار عن أنواع الصخور وطرق تكوينها وحالات تغيراتها وما تحويه من سجلات للحياة، وسجلات المغناطيسية القديمة، وسجلات الزلازل وغيرها مما نعلمه ومما لا نعلمه. وإذا ما كان المؤرخون عاجزين عن قراءة تاريخ الحضارات القديمة بصورة كاملة لندرة أو عدم وجود سجلات لبعض الفترات الزمنية فكيف يكون الحال عند قراءة سجل عريض حافل بالأحداث يمتد إلى أكثر من أربعة آلاف وستمائة مليون سنة. إنه سجل دقيق ورائع إلا أنه في نفس الوقت سجل ناقص غير مكتمل.

أهمية الصخور الرسوبية (Significance of Sedimentary Rocks)

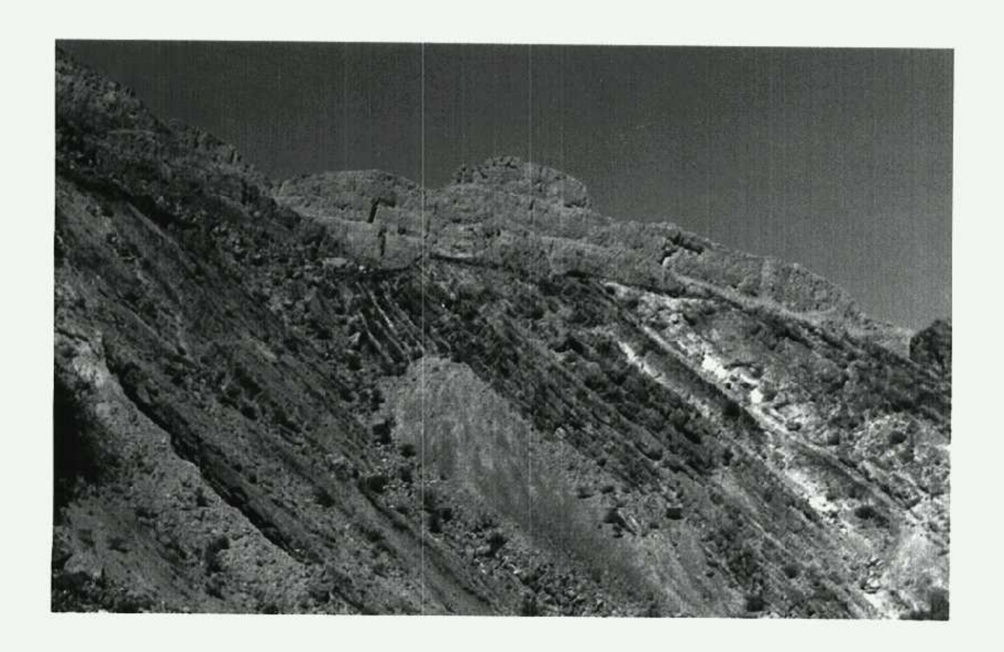
وتلعب الصخور الرسوبية دوراً هاماً في دراسة تاريخ الأرض لإنتشارها الكبير، ولتواجدها على هيئة طبقات، ولإحتوائها على بقايا الكائنات التي تعد وثائق تشهد على وجود الحياة عبر زمن طويل، ولما تحويه من بنيات عديدة وبيئات ترسيبية متنوعة.

والأحافير تمثل أهمية كبرى في سجل الصخور الرسوبية ليس لأنها مجـرد بقايـا عاديـة لكائنات ما قبل التاريخ، ولكن لأنها تمدنا بالمعلومات عن تعاقب الحيـاة ولاسـتخدامها فـي معرفة الأعمار النسبية للصخور التي تحتوي عليها، وتساعد على تفهم البيئات القديمة وتحـدد مواقع القارات عبر المراحل الزمنية في تاريخ الأرض.

السجل الأرضي (Geologic Record)

تمثل الصخور بأنواعها المختلفة أرشيفاً تُحَفَظ به الأسرار والعجائب، وتتنـوع السـجلات فهناك سجل للصخر ذاته مدون به مكوناته من المعادن والعناصر وكيفية نشـأته والعمليـات المعاصرة واللاحقة لتلك النشأة. وأعجب ما في السجل الصخري تلك الساعة الذرية التي بـدأت تدق مع مولد الصخر أي تشع بمعدلات ثابتة لكل عنصر ومازال الساعة تدق ولسوف تسـتمر دقاتها إلى ماشاء الله. وأيضاً من روائع السجل الصخري ما يدونه عن المغناطيسية القديمة فـي الصخور وما تعكسه البصمة المغناطيسية من تبادل للأقطاب المغناطيسية للأرض عبر الزمن.

ويحتوي ذلك السجل الصخري كذلك على أرشيف رائع لبقايا الحياة التي عمـرت الأرض في الأزمنة الماضية، سجلت به الكائنات إبتداءً من البكتيريا والطحالب مـروراً باللافقاريـات والفقاريات من الأسماك والبرمائيات والزواحف والطيور ونباتات البر والدنـاصير العملاقـة والثدييات المتنوعة والإنسان الذي خُلِق في أحسن تقويم، ونباتات البر. ويالرَوْعة السِجل الـذي يحفظ جناح الحشرة وتعرقات الورقة وهيكل الدينوصور وجمجمة الإنسان. يالـه مـن سـجل يحفظ زحف الجليد في الأزمنة الماضية كما يحفظ حبات الرمال وما يعتريها مـن تغـيرات. سجل يحفظ ثورات البراكين وانفتاح وإغلاق المحيطات وبناء وتآكل الجبـال. سـجل يحفـظ قطرات المطر التي سكنت في الأرض. ولكن هذا السجل الصخري على روعته سجل نـاقص، وذلك لأن حالات الترسيب المستمر الكامل تعد حالات نادرة مقارنة بحـالات الإنقطـاع فـي الترسيب. وتحدث ظاهرة عدم الاستمرار على المستوى الإقليمي الكبير أو المستوى المحلـي المحدود (شكل ٦). ويحتوي السجل الأرضي في كثير من الأماكن على انقطاعات في عمليـة الترسيب قد تفوق السجل ذاته (More Gaps Than Record) ويعبر عنها كحالات عدم التوافـق المختلفة.



شكل (٦) عدم توافق متقطع. يمثل فترة انقطاع في الترسيب أو تآكل لجزء من الصخور التي سبق وأن ترسبت فينتج عنه نقص في السجل الصخري، وادى بني عوف، سلطنة عمان، (صورة ألتقطت بواسطة المؤلف).

كذلك يمكن القول بأن سجل بقايا الحياة في صخور الأرض غير مكتمل وذلك لأن تتابع الطبقات في قطاع ما قد يحوي نقصاً يفوق ما أمكن تسجيله من تتابعات الصخور وتتابعات الحياة. ولعل النقص في سجل الحياة يتضح بجلاء إذا ما علمنا أن أنواع الكائنات التي وُصفت حالياً يبلغ عددها زهاء ٥ر١ مليون نوعاً من النباتات والحيوانات وهذا الرقم يمثل عدد أنواع الأحياء التي تعيش اللحظة الحالية من الزمن. ترى كم عدد الأنواع التي تواجدت حقاً خلال تاريخ الحياة ؟ وفي الواقع فإن ما تم اكتشافه من الكائنات المتأحفرة يبلغ قرابة ٠٠٠ر٢٥٠ نوعاً وهذا الرقم متواضع جداً بالنسبة لعدد الأنواع التي تواجدت خلال بلايين عدة من السنين. وفي كل يوم جديد يمكن إضافة أشياء إلى هذا السجل، ومع ذلك يبقى السجل الكامل بعيداً كل البعد عن علم البشر وهذا السجل يوجد كاملاً عند الله فقط.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَٰنِ الرَّحِيمِ

﴿ قَالَ فَمَا بَالُ الْقُرُونِ الْأُولَىٰ (٥١) قَالَ عِلْمُهَا عِندَ رَبِّي فِي كِتَابٍ ۖ لَّا يَضِلُّ رَبِّي وَلَا يَنسَى (٥٢) ﴾

سورة طه

فعلى سبيل المثال بينما يوجد ثلاثة أرباع مليون نوع من الحشرات الحية فإنه لم يعثر في السجل الأحفوري إلا على حوالي ٨٠٠٠ نوع من أحافير الحشرات. ولقد قدر أن نسبة الأحافير المكتشفة تتراوح ما بين ٢٫٥% إلى ١٣٫٥% من مجموع أنواع الكائنات التي عاشت على سطح الأرض منذ عصر الكمبري (منذ ٥٧٠ مليون سنة مضت تقريباً). وعلى الرغم من قلة الكائنات المحفوظة إلا أنها قد أعطت فكرة طيبة عن معالم تاريخ الأرض. مع العلم بأنه كلما سد كشف جديد فراغاً في السجل ظهرت فجوات جديدة ، وأنّى لعلم البشر معرفة تاريخ ومسار كل ورقة قد سقطت من شجرتها وكل حبة إختفت تحت الثرى، وصدق الله تبارك وتعالى حيث يقول :

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَٰنِ الرَّحِيمِ

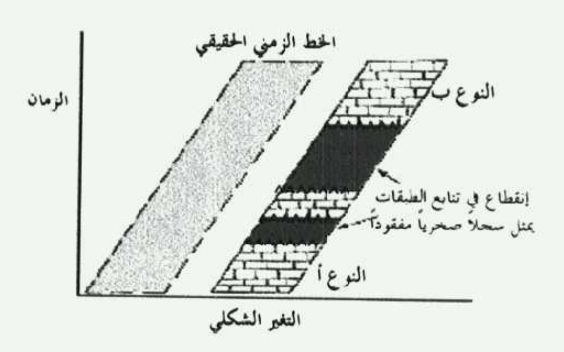
﴿ ۞ وَعِندَهُ مَفَاتِحُ الْغَيْبِ لَا يَعْلَمُهَا إِلَّا هُوَ ۚ وَيَعْلَمُ مَا فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ ۚ وَمَا تَسْقُطُ مِن وَرَقَةٍ إِلَّا يَعْلَمُهَا وَلَا حَبَّةٍ فِي ظُلُمَاتِ الْأَرْضِ وَلَا رَطْبٍ وَلَا يَابِسٍ إِلَّا فِي كِتَابٍ مُّبِينٍ (٥٩) وَهُوَ الَّذِي يَتَوَفَّاكُم بِاللَّيْلِ وَيَعْلَمُ مَا جَرَحْتُم بِالنَّهَارِ ثُمَّ يَبْعَثُكُمْ فِيهِ لِيُقْضَىٰ أَجَلٌ مُّسَمًّى ۖ ثُمَّ إِلَيْهِ مَرْجِعُكُمْ ثُمَّ يُنَبِّئُكُم بِمَا كُنتُمْ تَعْمَلُونَ (٦٠) ﴾

سورة الأنعام.

ويمكن القول بإختصار أن هناك نوعان من الإنقطاع في السجل :

أ- إنقطاع في السجل الطباقي حيث لم تترسب طبقات من الأصل أو تآكلت بعد ترسيبها.

ب- إنقطاع في سجل الأحافير حيث لم تحفظ بقايا كائنات كثـــيرة جـداً فـــي الصخــور (شـكل ٧).



شكل (٧) إنقطاع في السجل. يؤدي النقص في السجل الرسوبي إلى إنقطاع في السجل الحفري حيـــث تتميز حفريات النوع ب عن حفريات النوع أ تميزاً واضحاً نظراً لوجود عدم التوافق.
(Modified after Cooper *et al.*, page 120, Figure 4-12. 1990 by Merrill Publishing Company).

قراءة السجل الصخري

تجدر الإشارة في البداية إلى أنه لا يوجد مكـان علــى ســطح الأرض أو تحـت ثراهــا يتواجد فيه السجل الصخري المعروف كاملاً، ومن هنـــا تكمـــن الصعوبـــة فـــي تشـــييده إلا أن ما حفظ منه يعطينا فكـــرة جيـــدة عـــن تـــاريخ الأرض بعـــد قراءتـــه بتمعـــن وتبصـــر وإستنباط التاريخ الجيولوجي لـــــلأرض.

والآن دعنا نتصفح سويا كتاب الزمن المكـــون مـــن ٤٦٠ صفحـــة والـــذي تمثـــل كـــل صفحة فيه سجل أحداث وقعت خلال عشـــرة ملاييـــن مـــن الســـنين، أي أن الكتـــاب يمثـــل سجل ٤٦٠٠ مليون سنة مضـــت وهـــو عمـــر كوكـــب الأرض. وســـنتوقف عنـــد بعـــض الصفحات لنقرأ الآتـــي :

١- الثمانون صفحة الأولى تبدو مجللة بالسواد لايمكننـــا الآن قراءتـــها لأننـــا لـــم نعـــثر على سجل لها ، إما لأنها لم تترك أثرا يدل عليـــــها ، أو لأن ســـجلها مـــازال خفيـــا عنا أو أن سجلها موجود ولكن لانعـــــرف كيـــف نقـــرأه. والصفحـــات تلـــك تمثـــل

٨٠٠ مليون سنة تمتد ما بين ٤٦٠٠ مليون سنة مضت و ٣٨٠٠ مليون سنة مضت وتسمى الزمان الغابر (Hadean Eon).

٢- الصفحة رقم ٨١ تسجل أقدم الصخور المكتشفة على سطح الأرض والتي يقدر عمرها بحوالي ٣٨٠٠ مليون سنة مضت والتي من عندها يبدأ السجل التأريخي للأرض.

٣- الصفحة رقم ١١٠ تسجل سطوراً تتحدث عن شواهد ظهور أول حياة بدائية بسيطة منذ حوالي ٣٥٠٠ مليون سنة مضت.

٤- الصفحة رقم ٢٦٠ تسجل معدلاً للأكسجين في الغلاف الجوي يصل إلى ١% من المعدل الحالي وذلك منذ ٢٠٠٠ر٢ مليون سنة مضت.

٥- الصفحة رقم ٣٩٠ تسجل وجود حيوانات حقيقية ظهرت منذ ٧٠٠ مليون سنة مضت.

والملاحظ أن جميع الصفحات السابقة إستغرق تسجيلها حوالي ٨٥% من عمر الأرض وتمثل زماني السحيق وطلائع الحياة، بينما تمثل الصفحات الباقية والتي تمثل ١٥% تقريباً من عمر الأرض العالم المشهود أو الحياة الظاهرة. وتحوي الصفحات الأخيرة من كتاب الزمن سجلاً لا بأس به ولسوف نطالع فيها :

أ- أول سجل للأسماك البدائية منذ حوالي ٥٠٠ مليون سنة مضت مدوناً بالصفحة رقم ٤١٠.

ب- ظهور أقدم نباتات البر منذ حوالي ٤٥٠ مليون سنة مضت ومدونة بالصفحة رقم ٤١٥.

جـ- سجل رواسب الفحم منذ حوالي ٣٠٠ مليون سنة مضت وذلك في الصفحة رقم ٤٣٠.

د- سجل عالم الدناصير ما بين الصفحات ٤٤٠ – ٤٥٥. أي فيما بين ٢٢٥، ٦٥ مليون سنة مضت.

هـ- شواهد تحطيم قارة بانجيا العملاقة في الصفحـــات مـــن ٤٤٢ – ٤٥٠ فيمـــا بيـــن ١٨٠ – ١٠٠ مليون سنة مضـــت.

ونجد أخيراً سجل الإنسان الـــذي لـــم توجـــد لـــه بقايـــا قبـــل إنتـــهاء ثلاثـــة أربـــاع الصفحة الأخيرة التـــي تحمـــل رقـــم ٤٦٠. وبمقيـــاس الزمـــن الأرضـــي فســـوف نذكـــر الحربيـــن العـــالميتين الأولـــى والثانيـــة، ورحلـــة كريســـتوفر واغتصـــاب اليـــهود لأرض فلسطين، وهبوط الإنسان على سطح القمر ورحـــلات الفضـــاء الأخـــرى وحـــرب الخليـــج وغيرها من أحداث القرن العشرين في السطر الأخير مـــن كتـــاب الزمـــن.

الفصل الثالث

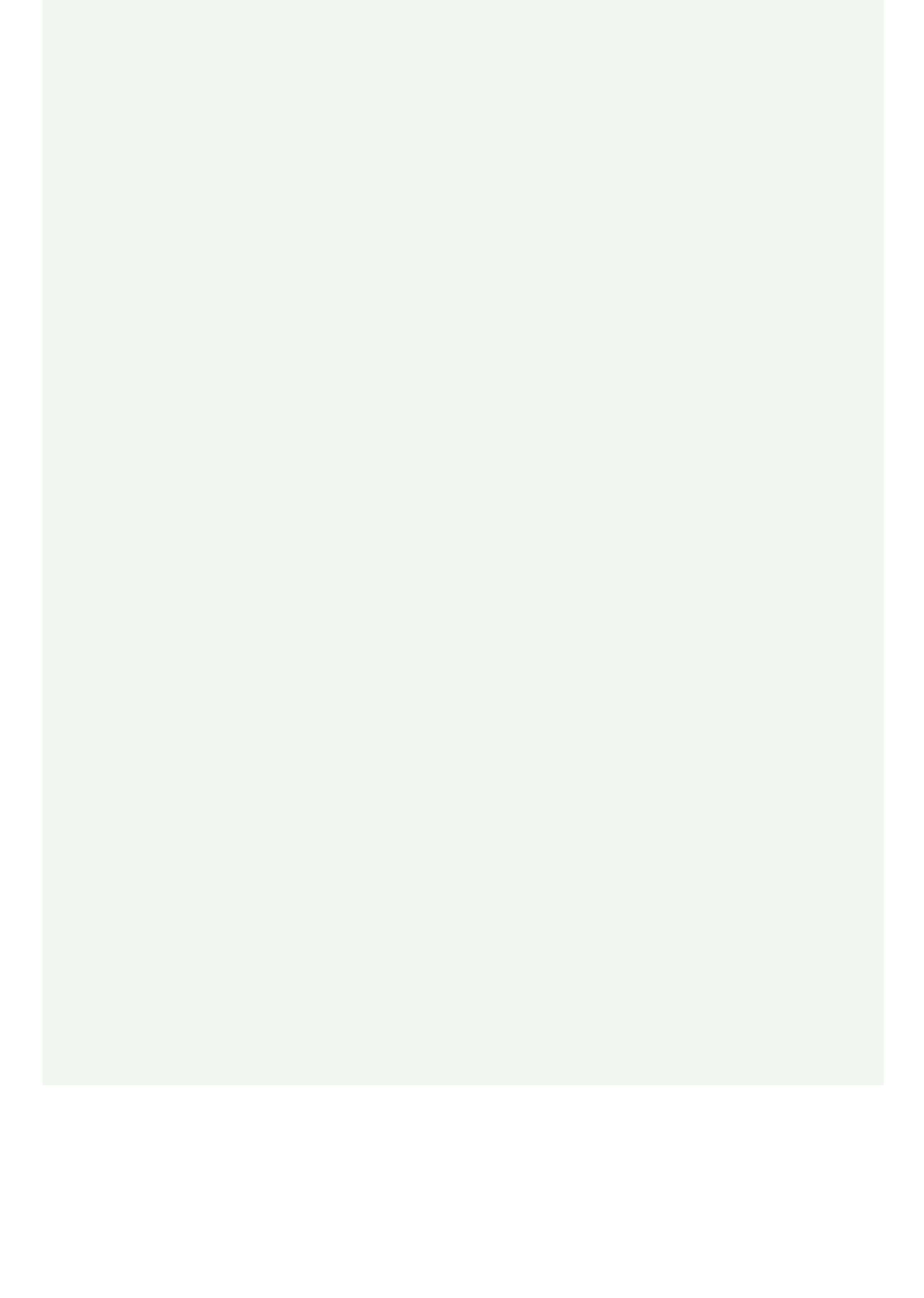
الزمن الأرضي

- إسهامات الأوائل • مقياس الزمن الأرضي • التأريخ النسبي • الزمن المطلق وتقدير الأعمار



مقياس الزمن الأرضي.

(After U. S. Geological Survey Publication (Geologic Time) in Plumer/ McGeary, 1996 : Physical Geology, 7th edition, Page 173. WC Wm. C. Brown Publishers).



الزمن الأرضي
(Geologic Time)

إسهامات العلماء الأوائل في مجال تصنيف ومنشأ علوم الأرض

هناك أسماء كثيرة من علماء المسلمين أسهمت في تطور علوم الأرض مثل أبو الريحان البيروني والعمري والمسعودي وأبو علي ابن سيناء ومحمد بن زكريا القزويني. وقد أشارت جماعة إخوان الصفا وغيرهم (٩٤١ – ٩٨٢م) إلى أنواع الجبال وسطح ودورة التحات وعوامل التجوية. هذا وقد سبق عمر العالم زمانه في رسالته عن "انحسار البحر" حيث أشار إلى تقدم وتراجع البحار عبر أزمنة الأرض المختلفة وإلى وجود ما يعرف الآن بالبحار القارية (Epicontinental Seas) في قلب قارة آسيا. وسوف نذكر على سبيل المثال لا الحصر بعض الأسماء البارزة التي أسهمت إسهاماً حقيقياً في تطور علوم الأرض.

١ – **أبو الريحان البيروني (٩٧٣ – ١٠٦٢م)** : إذا كان أبو الريحان البيروني يعد أحد رواد علم المعادن إلا أن أحد النصوص المنسوبة إليه والذي اقتبسته من كتاب "أسس علم الرسوبيات" للأستاذ الدكتور محمدعبد الغني مشرف في الصفحة رقم ١٢ يدل على أن البيروني كان ذا باع يحسب له في مجال علمي طبقات الأرض وأحافيرها حيث يشير إلى العلاقة بين اليابسة والبحر وإلى اختلاف مكونات الطبقات ومحتواها الأحفوري وطرق حفظ الأحافير ما بين الحفظ الكامل والحفظ مع التغيير، وأشار أيضاً إلى النقص الموجود في السجل الأرضي وهذا نص البيروني : "ينتقل البحر إلى البر، والبر إلى البحر في أزمنة، إن كانت قبل كون الناس في العالم فغير معلومة، وإن كانت بعده فغير محفوظة لأن الأخبار تنقطع إذا طال الأمد عليها، وخاصة في الأشياء الكائنة جزءاً بعد جزء، بحيث لا تفطن لها إلا الخواص. فهذه بادية العرب وقد كانت بحراً فانكبس حتى أن آثار ذلك ظاهرة عند حفر الآبار والحياض بها، فإنها تبدي أطباقاً من تراب ورمال ورضراض، ثم فيها من الخزف والزجاج والعظام ما يمتنع أن يحمل على دفن قاصد إياها هناك بل تخرج منها أحجار إذا كسرت كانت مشتملة على أصداف وودع وما يسمى آذان السمك، إما باقية على حالها وإما بالية قد تلاشت وبقي مكانها خلاء متشكلاً بشكلها.

٢ – **إبن سينا (٩٨٠ – ١٠٣٦م : ٣٧١ – ٤٢٨ هـ)** : يعتبر أبو علي الحسين ابن سينا هو مؤسس علم الأرض عند العرب والمسلمين ، ويعد من العلماء المسلمين العظام فهو صاحب اكتشافات عدة، سنذكر منها آراءه حول قانون تعاقب الطبقات (Law of

(Superposition) الذي تنسبه المراجع خطأً إلى ستينو (Steno) فقد ورد في كتاب "إسهامات علماء المسلمين الأوائل في تطور علوم الأرض" للأستاذ الدكتور زغلول راغب النجار، ماكتبه ابن سينا ونصه : "ويجوز أن ينكشف البر عن البحر وكل بعد طبقة، وقد يرى البعض الجبل كأنه منضور سافاً فسافاً فيشبه أن يكون ذلك قد كانت طينتها في وقت ما كذلك سافاً فسافاً، بأن سافاً إرتكم أولاً ثم حدث بعده في مدة أخرى سافاً آخر فإرتكم وكان قد سال على كل ساف جسم من خلاف جوهره فصار حائلاً بينه وبين الساف الآخر". والملاحظ أن ابن سينا لم يشر فقط إلى قانون تعاقب الطبقات ولكنه فسر ظاهرة التطبق (Stratification).

٣- **ستينو** (Nicolaus Steno) **(١٦٣٨ – ١٦٨٧م)** : تعرف نيقولاس ستينو على المبدأ الأساسي للطبقات حيث ذكر أن سبب وجود الطبقات هو رواسب المحاليل. ولاحظ أن الطبقة التي تترسب من محلول ما، لا يعلو سطحها العلوي شئٌ سوى المحلول ذاته، بمعنى أن الطبقة الجديدة لا تتكون إلا بعد تكوين الطبقة السابقة. وفي هذا إشارة إلى ما عرف بعد ذلك بقانون تعاقب الطبقات الذي يعالج كيفية تَوَضُّع الصخور في ترتيب نسبي. وفي عام ١٦٦٩م قام ستينو بصياغة ما عرف بمبادئ ستينو الثلاثة :

١- مبدأ تعاقب الطبقات : "في تتابع الصخور المتطبقة، تكون أي طبقة أقدم من الطبقة الحديثة التي تقع فوقها".

٢- مبدأ أفقية التوضع.

٣- مبدأ الإستمرارية الجانبية الأصلية للطبقات.

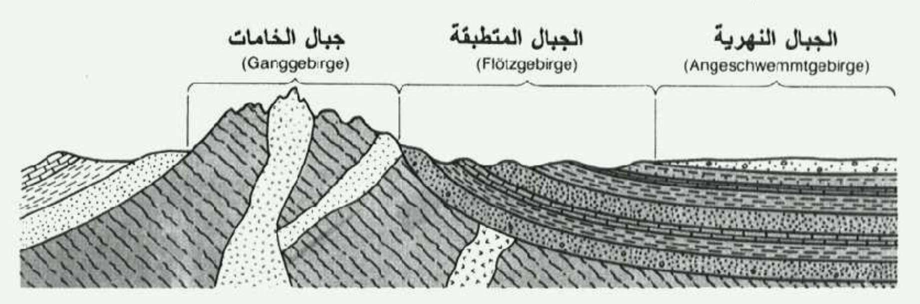
ومع ذلك هناك من يرى أن إسهام ستينو في علم الطبقات يعد أمراً مشكوكاً فيه وذلك لأن أعماله لم تعرف إلا بعد موته بحوالي ثلاثة قرون في عام ١٨٣٠م.

٤- جوهان لهمان (Johan Lehman) (١٧٥٠م) : قسم لهمان الصخور إلى أربعة أنواع (شكل ٨):

أ- **الجبال** (Mountains) : التي تكونت أثناء نشأة الأرض وتشكل جبال الخامات Ore Mountains.

ب- **الجبال المتطبقة** (Stratified Mountains) : وتشتمل على الصخور المتكونة على هيئة طبقات ترسبت أثناء الطوفان في عهد نوح "عليه وعلى نبينا محمد السلام" . ويرى لهمان أن بقايا الكائنات الموجودة بتلك الطبقات هي آثار لكائنات كانت تعيش على سفوح الجبال وقد جرفتها أمواج كالجبال ليستقر بها المقام في البحر.

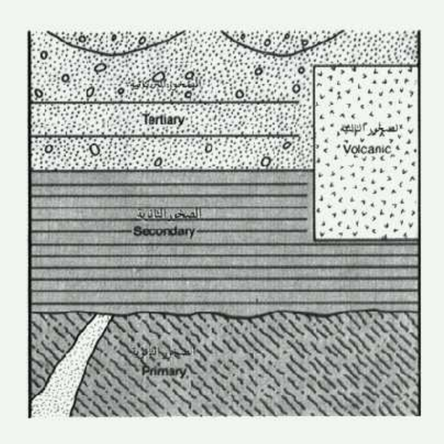
جـ- الجبال النهرية (Alluvial Mountains) **:** وتشتمل على صخور ضعيفة التماسك، تكونت بفعل البراكين والزلازل والعواصف والإنهيارات الأرضية ونشأت بعد الطوفان. ويتضح مما سبق أن الطوفان في عهد نوح يمثل حجر الزاوية في تاريخ الأرض عند عدد من قدامى علماء الأرض الغربيين، وهذا بالطبع ليس صحيحاً على الإطلاق في ضوء معطيات العلم الحديث.



شكل (٨) تقسيم جوهان لهمان لصخور قشرة الأرض.

(After Cooper et al., 1990, page 160, Figure 6-2 : Merrill Publishing Company).

٥- تقسيم جيوفياني أردوينو (Giovanni Arduino) (١٧٦٠م) : قسم أردوينو الصخور إلى ثلاثة أصناف (شكل ٩) كما يلي : أ- الصخور الأولية (Primary) وهي تشبه النوع الأول من تقسيم لهمان. ب- الصخور الثانوية (Secondary) وتشمل الصخور الرسوبية المحتوية على أحافير. جـ- الصخور الثالثية (Tertiary) وهي صخور رسوبية ضعيفة التماسك. د- الصخور البركانية وقد وضعها ضمن الصخور الثالثية.



شكل (٩) تقسيم جيوفاني أردوينو للصخور إلى أولية وثانوية وثالثية (شاملة الصخور البركانية)

(After Cooper et al., 1990, page 161 : Merrill Publishing Company).

٦– جيمس هاتون (James Hutton) (١٧٢٦ – ١٧٩٧م) : في منتصف القرن الثـــاني عشر الميلادي فطن جيمس هاتون (James Hutton) إلى قِدَم الأرض وقِدَم العوامل المشـــكلة لها، ، وتوصل إلى أن الأرض قد اعتراها تغير منذ نشأتها وأن العمليات التـــي ســـادت علـــى الأرض منذ القدم هي نفسها التي تلعب الدور الرئيسي في تشكيلها في الوقت الحاضر.

وقد قام السير أرشيبالدجيك (Archibald Geik) (١٨٣٥ – ١٩٢٤م) بإعادة صياغـــة رأي هاتون حول استمرارية العوامل الأرضية في جملة بسيطة تنص علـــى أن "الحـــاضر مفتـــاح الماضي" والتي عرفت بمبدأ الوتيرة الواحدة (Uniformitarianism). هذا مع العلم بأن العمليات الأرضية تختلف عبر الأزمنة الماضية شدة وضعفاً، ونأخذ على هاتون فكره المادي عن أزليـــة الكون، حيث يقول "أنه لم يجد أي علامة تشير إلى البداية أو توقعاً حول النهاية" وأيضاً مقولتـــه "إذا ما سجل تتابع العوامل في نظام طبيعي فإنه من العبث النظر إلى أي شئ أعلى في أصلـــه من الإنسان". وقد حاول هاتون أن يضع مبادئ ثابتة لعلوم الأرض على غرار ما فعله إســـحاق نيوتن بالنسبة لعلم الفلك ، ولكن آراءه قامت على الكثير من الأسس النظرية أكثر، وإليه يرجـــع الفضل في اكتشاف عدد من المبادئ الأساسية في علوم الأرض ومنها : عـــدم التوافـــق بيـــن الطبقات خاصة النوع الزاوي (Angular Unconformity)، مبدأ الوتيرة الواحدة أو مبدأ التوحـــد (Uniformitarianism).

٧– أبراهام فرنر (Abraham Werner) (١٧٥٠ – ١٨١٧م) : تخيل فرنر أن الخلـــق نشأ من محيط كبير ثم أخذ يصغر تدريجياً مُخَلِفاً وراءه طبقات من الصخور. وسُميت فرضيتـــه بالفرضية المائية (Neptunism) وسُمي تلاميذه بالمائيين (أصحاب مبدأ الخلق مـــن المحيـــط) (Neptunists).

وهناك من يرجع نشأة الصخور إلى النشاط البركاني وهؤلاء هم النـــاريون (Volcanists). أما الباطنيون (Plutonists) فيعتقدون أن جوف الأرض هو المصدر الحقيقي للصخور.

ووفقاً لآراء فرنر تمثل الجبال ظواهر تضاريسية أصيلة، ربما تكونت عند تبلور الجرانيـــت من المحيط العالمي، بينما الطبقات المائلة عند أطراف الجبال قد توضعت في الأصـــل أفقيـــاً. ويرى فرنر أن الطبقات المائلة هذه ربما إنزلقت لأسفل قبل تماسـكها (شـــكل ١٠). وبـــالطبع فآراء فرنر ليست صحيحة في ضوء معطيات العلم الحديث.

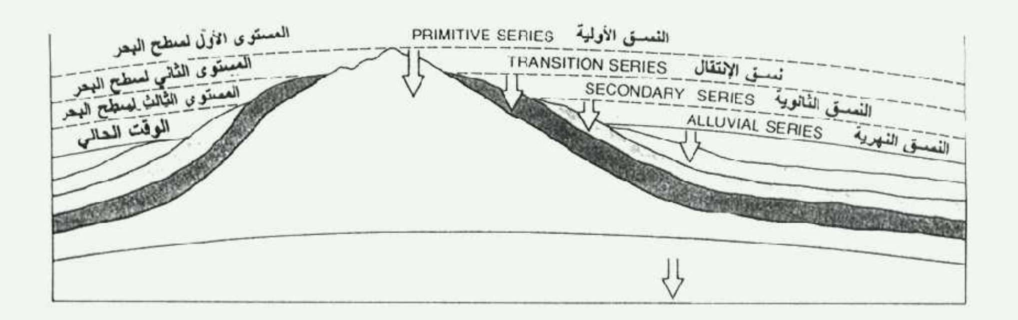
هذا وقد صنف فرنر الصخور إلى أربعة أقسام:

١– صخور النسق الأولي (Primitive Series) وتضم الجرانيت والنيس والشست.

٢– صخور النسق الانتقالي (Transion Series) : وتتكون من الكوارتزيت والحجر الجـــيري وتحوي أقدم آثار الكائنات.

٣- صخور النسق الثانوي (Secondary Series) : ومن أمثلتها صخور الحجـــر الرملـــي والجيري وأيضاً الفحم، ويوجد بها مستحاثات.

٤- رواسب النسق النهري (Alluvial Series) : وتتكون من الحصـــى والرمـــال والطيـــن والفحم وبعض الطبقات البركانية (Cinder Beds).



شكل (١٠) توضيح فكرة فرنر حول تكوين صخور قشرة الأرض من تتابع النُسُق الأولية والإنتقالية والثانوية والنهرية. (نفس المرجع السابق صفحة ١٦٢، شكل ٦-٤).

٨- وليم سميث (William Smith) (١٧٦٩-١٨٣٩م) وجـــورج كوفييـــه (George Cuvier) (أواخر القرن السابع عشر وأوائل القرن الثامن عشر) : يرجـــع إليـــهما فضـــل اكتشاف قانون تعاقب الحياة، بمعنى أن كل طبقة أو مجموعة من الطبقات تحوي بقايا لكائنـــات تختلف عن البقايا الموجودة في الطبقات الأخرى في التتابع. ويعتبر جورج كوفييه مـــن أشـــد المؤمنين بتجدد الخلق ومن المؤيدين لفكرة مؤداها أن حدوث الكوارث جزء حقيقي من تـــاريخ العالم. ويعد الرجل مؤسساً لعلم الأحافير الفقارية. هذا بجانب اعتقاده أن عدم الإستمرارية فـــي تتابع الطبقات قد حدث على مستوى العالم أجمع وأن تاريخ الأرض قد شهد فـــترات تمـــيزت بهلاك جماعي للكائنات ومراحل متجددة من الخلق.

٩- شارلز ليـــل (Charles Lyell) (١٧٩٧ - ١٨٧٥م) : ألـــف ليـــل كتابـــاً أســـماه (أساسيات علوم الأرض) وفيه ذكر نظريـــة الخلـــق الخـــاص والتقويـــم الزمنـــي المذكـــور في العهد القديم، ولكنه سخر مـــن مؤيـــدي مبـــدأ الكـــوارث فـــي تـــاريخ الأرض، وســـخر كذلك من فكرة الخلق من المحيـــط الكبـــير. ورأى أن كـــل الظواهـــر الجيولوجيـــة تحـــدث تدريجياً نتيجة تراكمها خطوة وراء خطوة. ويـــرى ليـــل أن الأرض فـــي تغـــير دائـــم وأن

عدم الإستمرارية في الترسيب ظـــاهرة محليـــة ولا تحـــدث نتيجـــة كـــوارث محددةوأشـــار إلى إمكانية المضاهاة الجانبية للطبقـــات بإســـتخدام الأحـــافير علـــى امتـــداد الأقـــاليم المتسعـة، وأيضاً عبر عن وجود تتابع رأسي للأحافير في الصخـــور. وقـــد تـــأثر دارون بأفكـــار هـــذا الرجل.

مقياس الزمن الأرضي (Geologic Time Scale) :

يقدر الزمن الأرضي بطريقتين مختلفتين، الأولى منـــهما تتضمـــن قيـــاس الزمـــن عـــن طريق ترتيب الأحداث الأرضية وفقاً لتتابع حدوثها مـــن القديـــم إلـــى الحديـــث. والطريقـــة الثانية تقدر عمر الصخور بالســـنين وتعطـــي زمنـــاً مطلقـــاً للأحـــداث الأرضيـــة. وممـــا لاشك فيه أن مقياس الزمن الأرضي قد شُيد أولاً بالطريقـــة الأولـــى عـــن طريـــق معرفـــة الزمن النسبي للأحداث، حيث رُتِّبت الصخور كمـــا ذُكِـــر مـــن قبـــل إلـــى أوليـــة وثانويـــة وثالثية مثلاً، ثم قُسم الزمن تبعاً لقدم أو حداثة الكائنـــات إلـــى مـــا قبـــل الكمـــبري وحقـــب الحياة القديمة وحقب الحياة المتوسطة وحقب الحياة الحديثـــة. وأخـــيراً وفـــي ضـــوء التقـــدم العلمي والتقني حُددت أعمار الصخـــور والعصـــور بالســـنين بطـــرق مختلفـــة حتـــى شُـــيد مقياس الزمن الحالي ليجمع بين المقياس النســـبي والمقيـــاس المطلـــق.

وسوف نشير فـــي إشـــارة عـــابرة إلـــى المقيـــاس النســـبي (Relative Time Scale) ونستكمل التفاصيل المتعلقة به في الفصل الرابع ثم نُفصـــل بإيجـــاز بعـــض طـــرق تقديـــر أعمار الصخور مع التركيز على طريقة التأريخ بإســـتخدام النظـــائر المشـــعة التـــي ســـوف نعالجها تفصيلياً في فصل الطباقيـــة الزمنيـــة.

التـأريخ النسبي للأحداث المتتابعة (Relative Dating for Sequences of Events) :

تترك الأحداث المختلفة التي مرت بها الأرض منـــذ بدايـــة تكوينـــها حتـــى يومنـــا هـــذا سجلاً في الصخـــــور. وتؤرخ هذه الحوادث وفقـــاً لأقدميتـــها ومقيـــاس الزمـــن حينئـــذٍ هو مقياس نسبي (Relative Time Scale) ، فـــهنا يكـــون علـــى ســـبيل المثـــال الحـــدث أ أقدم من الحدث ب الذي هو بدوره أقدم من الحدث جـ في التتـــابع مـــن أ إلـــى جـــ.

ويمكن معرفة الأعمار النسبية للصخور بتطبيـــق عـــدة مبـــادئ ســـوف يـــأتي شـــرحها بالتفصيل في الفصل الرابع وسنذكر فقط من بينها هنا الثلاثـــة مبـــادئ التاليـــة :

١- قانون تعاقب الطبقات والذي ينص على أنه في أي تتابع طباقي عادي فإن أسفل الطبقات تكون هي الأقدم ثم تليها الطبقات الأحدث منها، هذا ما لم يقلب التتابع بحركة أرضية.

٢- قانون أفقية التوضع الطباقي حيث تترسب الصخور الرسوبية في وضع أفقي أو تميل إلى الترسب في الوضع الأفقي.

٣- مبدأ القاطع والمقطوع فالقاطع أحدث من المقطوع.

وهناك أيضاً قانون التتابع الحياتي (الأحفوري) والبصمات المغناطيسية المتتابعة والتي سوف تناقش تحت موضوع المبادئ الأساسية لدراسة طبقات الأرض والتأريخ لها.

الزمن المطلق وتقدير الأعمار (Absolute Time and Age Dating):

أولاً: المحاولات الأولى لحساب عمر الأرض

في القرن الثامن عشر كانت هناك محاولات لتقدير عمر الأرض وإن كانت الأعمار التي تم تقديرها غير مقبولة الآن، إلا أن بعضها يستند إلى أسس علمية تمثل انعكاساً للفكر العلمي السائد آنذاك. وقبل أن نوضح المحاولات الأولى لتقدير عمر الأرض يجب ان نؤكد على أن تلك المحاولات العلمية تعتمد في الأساس على مبدأ الوتيرة الواحدة الذي يفترض الثبات في العمليات الفاعلة على سطح الأرض والذي هو في الواقع فرض خطأ بالمفهوم الحديث.

(١) تقدير عمر الأرض استناداً إلى معدلات الترسيب : تعتمد هذه الطريقة على قياس السُمك الكلي للرواسب المسجلة في التتابع الرسوبي الكلي للأرض ثم قسمة هذا السُمك على معدل الترسيب السنوي، وقد تم تسجيل سُمك الصخور الرسوبية في معظم الأماكن التي تكونت فيها أكثر الرواسب سُمكاً. حيث تراوح سُمك القطاع الرسوبي المجمع ما بين ١٠٠،٠٠٠ إلى ٣٠٠،٠٠٠ ميلاً، كما تراوحت معدلات الترسيب ما بين ١٠٠ إلى ٨٠٠٠ سنة لكل قدم واحد من الراسب .

ويمكن حساب معدلات الترسيب مباشرة عن طريق :

أ- معرفة سُمك الرواسب السنوية المتواجدة على هيئة رقائق في القطاعات الرسوبية المختلفة وقسمة هذا السُمك على عدد السنوات فنحصل على قيمة تعبر عن

معدل السمك المترسب في العام. ويعد حساب هـذا المعـدل فـي الرقـائق الطينيـة شـيئاً غير بسيط بل يتأثر بعوامل كثـيرة.

ب- معرفة أعمار الصخور فوق وتحت الصخـور فـي حالـة الرواسـب التـي لا تتكـون من رقـائق.

جـ- حساب معدل الترسيب الحـالي.

وتعد هذه الطريقة غير مُرْضية بصفـة عامـة حيـث أنـه لا يوجـد سـجل رسـوبي واحد كامل يمثل تاريخ الأرض في منطقـة واحـدة، بـل أن معـدلات الترسـيب تتفـاوت وفقاً لنوع الصخر بالإضافة إلى أنها غير معروفة جيـداً بالنسـبة للصخـور القديمـة. هـذا علاوة علـى وجـود إنقطاعـات فـي الترسـيب، وتعريـة وتـآكل للصخـور الرسـوبية المتكونة في أماكن عديدة مـن سـطح الأرض.

(٢)- تقدير عمر الأرض عن طريـق ملوحـة البحـار : تقـوم هـذه الطريقـة علـى إفتراض أن قيعان المحيطات قد ملئت بالماء بعـد فـترة قصـيرة مـن نشـأة الأرض وأن المياه كانت حينئذ عذبة. وعن طريق تقدير الأملاح المذابـة فـي البحـار الحاليـة ومعـدل كمية الملح التي تصل إلى البحار سنوياً يمكن حسـاب عمـر المحيـط :

$$\text{عمر المحيط} = \frac{\text{كمية الأملاح الكلية في المحيط (بالجرام)}}{\text{معدل الأملاح المضافة (جرامات لكل سنة)}}$$

ومرة أخرى فإن هذه الطريقة غير مرضيـة لأن كميـة الأمـلاح التـي تصـل إلـى البحار عادة تتغير عاماً بعد عام علاوة علـى أن كميـات كبـيرة مـن المتبخـرات تعـود ثانية إلى البحـر.

(٣) تقدير عمر الأرض من حسـاب تنـاقص درجـة الحـرارة : قـدر لـورد كلفـن (Lord Kelvin) عمر الأرض بحوالـي ٢٤ - ٤٠ مليـون سـنة، ثـم عُـدل الرقـم حتـى وصل إلى ١٠٠ مليون سنة وذلك بعد إجـراء التصحيحـات المناسـبة. وترتكـز الطريقـة على أسس من قوانين الديناميكا الحراريـة حيـث أن الأرض قـد أخـذت تـبرد رويـداً رويداً بعد أن كانت كتلة منصـهرة.

وباختصار يمكن تلخيص محتوى الطرق السابق ذكرها في الجدول رقم (٣) كما يلي :

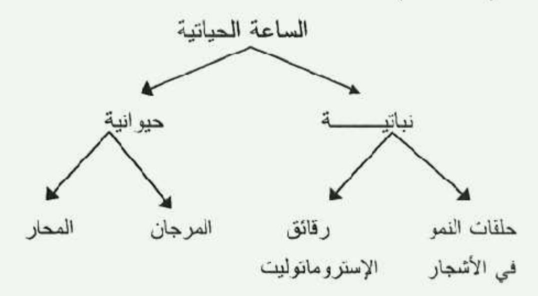
جدول (٣) ملخص الطرق الأولي في تقدير عمر الأرض بالسنين.

(From Physical Geology, P.216, Table 10.1)

الطريقة	العمر المقدر	صاحب الطريقة
ملوحة المحيطات : العمر = الملوحة الكلية / كمية الأملاح المترسبة سنوياً	٩٠ مليون سنة تقريباً	جون جولي (John Joly)
معدل الترسيب : العمر = السُمْك الكلي للرواسب / السُمْك المترسب سنوياً	٣ مليون – ١,٦ بليون سنة	توماس هكسلي (Tomas Huxley)
برودة الأرض : العمر = الحرارة الإبتدائية – الحرارة الحالية / الفقد الحراري السنوي	٢٥ – ١٠٠ مليون سنة	لورد كلفن (Lord Kelvin)

ثانياً : تقدير عمر الأرض على أساس من معدلات نمو الكائنات

تستخدم معدلات نمو الكائنات أحياناً في معرفة عمر الصخور الرسوبية مباشرة وفي تأريخ الأحداث (شكل ١١).



شكل (١١) رسم تخطيطي يوضح استخدام بعض أنواع الحيوانات والنباتات والبُنيات في تقدير الأعمار المطلقة.

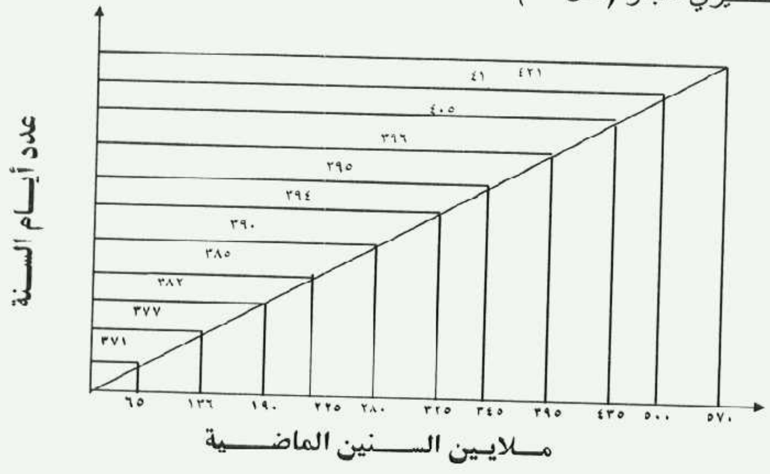
أ– ومن أمثلة النباتات المستخدمة ، الأنواع التي تنمو متسلقة على الصخور وجذوع الأشـجار والحوائط وغيرها من مثل أنواع الأشنات المختلفة (Lichen Species) حيث تسـتخدم حجـوم الأنواع التي استعمرت أسطح الصخور في تقدير عمر الصخور (Lichenometry).

ب– حلقات النمو في الأشجار [(Tree-Ring Dating (Denderochronology]

حيث تستخدم في تقدير أعمار الأشياء التاريخية أو حتى الموجودة في فـترات مـا قبـل التاريخ مثل الأبنية القديمة والأعمال الفنية. وإذا ما أستخدم تتابع هذه الأشجار يمكـن معرفـة الأعمار القديمة. وفكرة هذا التقويم تعتمد على أن كثيراً من الأشجار يختلف نموها عاماً بعـد عامٍ نتيجة الاستجابة للمؤثرات المناخية السنوية، وتضيف كل يوم حلقة نمو وأيضاً كـل عـام حلقة ومنهن يمكن معرفة عمر الأشجار.

حـ– تقويم المرجان (A Calendar in The Coral) :

على غرار حلقات النمو في الأشجار فإننا نجد بعض المرجان يسلك نفس طريقـة النمـو. وقد وجد على سبيل المثال أن مرجان عصر الديفونـي يحتـوي علـى ٤١٠ إلـى ٤٢٠ مـن الحلقـات اليومـية (Daily Layers) بين كل حلقـتين سنويتين (Annular Layers). وبناءً على ذلك يمكن إعتبار عام الديفوني أطول من مثيله اليوم، مع اعتبار أن مسار مـدار الأرض حول الشمس لم يتغير كثيراً عن وضعه الحالي، وبالتالي لم تتغير سـرعة دوران الأرض حـول محورها كثيراً. وفي نوع آخر من المرجان الموجود في الديفوني الأوسط حُسب فـي العـام ٣٩٨ يوماً تقريباً. وبمعنى آخر فإن أي مرجان يحتوي ٣٩٨ حلقة يومية في العام سـوف يشـير إلـى الديفوني الأوسط، بينما المرجان الذي يسـجل ٣٧٦ يومـاً فـي السـنة سـوف يعتـبر منتميـاً للطباشـيري المبكر (شكل ١٢).



شكل (١٢) تناقص عدد أيام السنة خلال أبد الحياة الظاهرة إستناداً على عدد حلقات النمو في المرجان.
(From Mintz, L. W. 1981,P., 101, Fig. 6011, Merrill Publishing Company).

ثالثاً : تقدير عمر الأرض بالسنين على أساس العمليات الفيزيائية والكيميائية :

تفيد العمليات الفيزيائية والكيميائية المتكررة في التقدير الزمني للأرض سواءً التقدير العددي أو النسبي وسوف نضرب بعض الأمثلة لذلك، منها :

أ- إستخدام الرقائق الصلصالية (Varves) في تقدير أعمار الصخور :

حيث أن الرقائق الصلصالية تعكس ترسبات سنوية فقد إقترح العَالِمْ هَوِسْ (House) عام ١٩٨٥م على وجه التحديد أن بعض الأنماط الرسوبية الدقيقة تمثل دورات نتجت عن حيود محور دوران الأرض. وإذا كنا نعرف أن محور الأرض في وضعه الحالي يميل ٢٣° على الوضع الرأسي فإن وضعه فيما مضى كان مختلفاً عن ذلك حيث تراوح بين ٨ ٢١° - ٤ ٢٤°. وتستغرق جولة المحور في الدورة الواحدة من أقصى ميل حتى أدنى ميل والعودة إلى الوضع الأقصى ثانية ٤١٫٠٠٠ سنة ومع إفتراض أن دورة الميل هذه لم يعترها سوى تغيرات طفيفة خلال الزمن، فقد توقع العَالِمْ هَوِسْ أنه من الممكن قياس إستمرار فترات مختارة من السجل الطباقي، وأعطى مثالاً على ذلك نطاق البلانوربس (*Planorbis* Zone) في صخور الجوري المبكر (اللايس المبكر) حيث قدر ٢٢ دورة (Microrhythms)، فإذا ما كان كل نمط رتيب يقابل ٤١٫٠٠٠ سنة، فإن فترة عمر النطاق المذكور يقدر بحوالي ٠٫٩٠٢ مليون سنة.

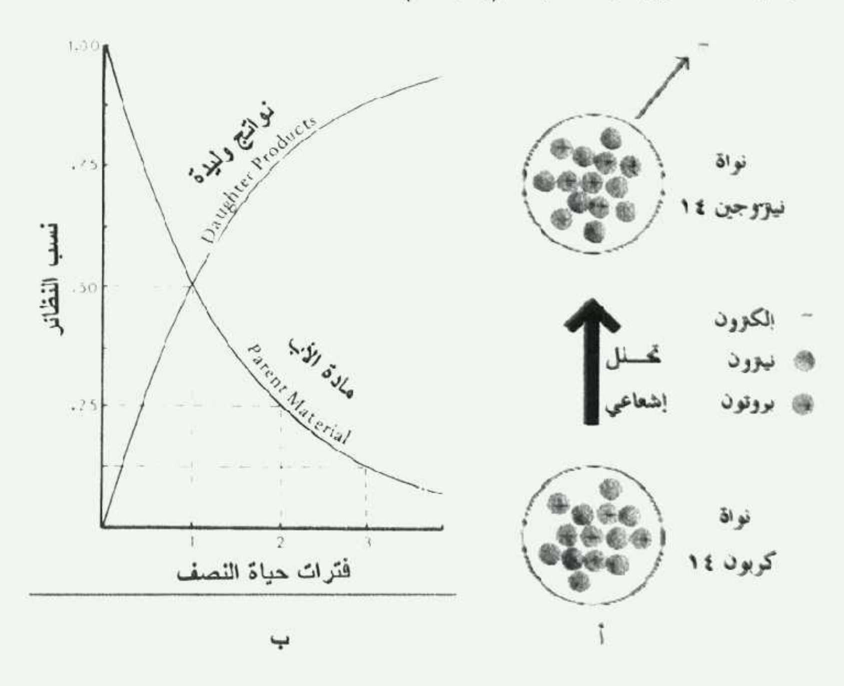
ب- قياس معدلات حدوث بعض العمليات الأرضية مثل معدلات التجوية الفيزيائية، معدلات تطور التربة القديمة (Paleosoil) ومعدلات تميؤ الأوبسيديان. والأخير صخر ناري زجاجي يتميأ فَيُكوِّن نطاق تميؤ يمكن تقدير سُمْكه ، ومن معرفة معدل تميؤ الأوبسيديان يمكن معرفة عمر الصخر.

٣- وتستخدم بعض الخواص الكيميائية للأحماض الأمينية مثل التحول من الترتيب اليساري إلى الترتيب اليميني في تقدير أعمار المواد العضوية الحديثة والأحفورية (Amino Acid Racemization Dating).

تقدير العمر بالنظائر المشعة (Radiometric Dating) :

النظائر (Isotopes) : في حين أن عدد البروتونات يكون ثابتاً في النواة فإن عدد النيوترونات يتغير في نظائر العنصر. ونظائر العنصر الواحد تتميز بخواص كيميائية متشابهة ولكنها تختلف في تركيب النواة، وأغلب النظائر ثابتة وبعضها غير مستقر لإشعاعه الذاتي وتحوله إلى عناصر أخرى.

التحلل الإشعاعي (Redioactive Decay) : عند تحلل نظائر النيوكليد الغير مستقر إشعاعياً تحدث سلسلة تلقائية من التغيرات تتحول خلالها النظائر الأبوية (Parent Isotopes) إلى نواتج وليدة (Daughter Products) (شكل ١٣-١٤) ويتم التحلل الإشعاعي عن طريق إنبعاث جسيمات ألفا وبيتا وأشعة جاما (جدول ٤).



شكل (١٣) رسم يوضح أ- مفهوم النظائر ب-تحلل مادة النظير الأب وتكوين نواتج وليدة خلال فترات نصف عمر النظير.

(أ- After Cooper *et al.*, 1990, page 147, Figure 5-15 ب- After Petersen and Rigby, 1990)

جدول (٤) ملخص عملية التحلل الإشعاعي.

(From Lemon,Roy R., p.101, Table 6.1)

التحلل	الحدث	النتيجة	مثال
تحلل الفا	إنبعاث جسيمات ألفا	إختزال ٢ من العدد الذري، إختزال عدد الكتلة بمقدار ٤	$_{92}U^{238} \rightarrow {}_{90}Th^{234}$
تحلل بيتا	إنبعاث جسيمات بيتا سالبة الشحنة (إلكترون)	تحويل نيترون إلى بروتون+إلكترون ، زيادة العدد الذري بمقدار ١ وعدم تغير عدد الكتلة.	$_{37}Rb^{87} \rightarrow {}_{38}Sr^{87}$
أسر إلكترون	أسر إلكترون	تحول البروتون إلى نيترون، نقص العدد الذري بمقدار ١، عدم تغير عدد الكتلة.	$_{19}K^{40} \rightarrow {}_{18}Ar^{40}$

الساعة صفر

الساعة ٢ مليون سنة

٢/١ ٢/١

الساعة ٤ مليون سنة

٤/١ ٤/٣

الساعة ٦ مليون سنة

٨/١ ٨/٧

الساعة ٨ مليون سنة

١٦/١ ١٦/١٥

الساعة ١٠ مليون سنة

٣٢/١ ٣٢/٣١

النظير الأب المشع الأصلي والمتبقي   الوليد الناتج

شكل (١٤) رسم توضيحي يمثل التحلل الإشعاعي لعنصر افتراضي ذي نصف عمر قدره ٢ مليون سنة حيث يمثل الصف الأول لحظة تكوين العنصر بينما الصف الأخير يمثل عمر الصخر منذ تكوينه.

ثوابت التحلل وفترات حياة أنصاف عمر النظائر المشعة

: (Decay Constants and Half-Lives of the Radioactive Isotopes)

تسير عملية التحلل الإشعاعي للعنصر المشع بمعدل ثابت يتناسب مع كمية المادة المشعة الموجودة، وهذا ما يعبر عنه بثابت التحلل [Decay Constant (λ)]، ويسمى الزمن اللازم لتحلل نصف ذرات العنصر أي نصف حياة العنصر أو نصف عمره (Half-Life)، وهو مقدار ثابت للعنصر. فإذا قيل أن نصف عمر الروبيديوم-٨٧ يساوي ٤٧٫٠٠٠ مليون سنة، فهذا يعني أنه بعد ٤٧٫٠٠٠ مليون سنة فإن نصف وزن الروبيديوم-٨٧ الموجود أصلاً في

الصخر سيتحول إلى الإسترونشيوم–٨٧ كناتج وليد. وبعد نفـــس الزمـــن ســيتحول نصــف الروبيديوم –٨٧ المتبقي إلى إسترونشيوم–٨٧... إلخ.

ويعتمد التأريخ الإشعاعي على أساسين هما ثبات معدل التحلل الإشعاعي وثانيــهما تجمــع النظير الوليد (وكلما طال زمن تواجد المعدن كان تجمع الوليد أكبر).

معادلة النشاط الإشعاعي :

تعبر المعادلة التالية عن المبدأ المستخدم في التقويم الإشعاعي :

$$t = \frac{N_d}{NP^{\lambda}}$$

t = الزمن بالسنين

N_d = كمية الوليد الناتج

NP = المادة الأب

λ = معدل التحلل السنوي أو ثابت التحلل

$$\lambda = \frac{0.693}{\text{نصف عمر النظير المشع}}$$

والمعادلة العامة

$$t = \frac{1}{\lambda} \log e \left[\frac{D_P - D_i}{P_p} + 1 \right]$$

D_p = كمية الوليد الناتج في الوقت الحـــالي.

D_i = كمية الوليد المتواجـــــــــد أصـــــــــلاً.

P_p = كمية المادة الأب في الوقت الحـــالي.

t = عمر الصخر منذ لحظة تبلـــــــــــوره.

ويمكن أيضاً تطبيق المعادلة التالية :

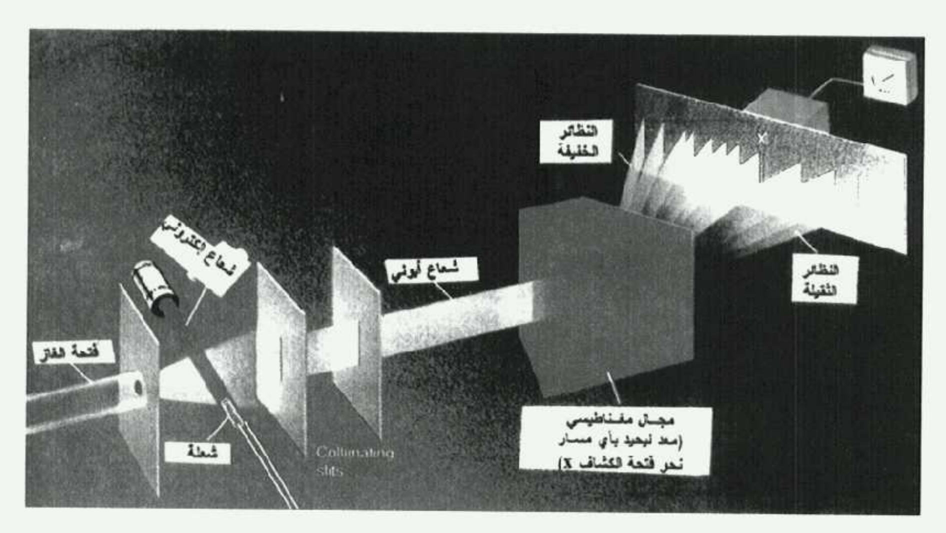
$$y = 0.3 \log \frac{N}{N_0}$$

N = العدد الكلي لذرات العنصر (مثل اليورانيوم) المتواجدة في أي كمية معلومة من العنصر.

N_0 = العدد الأصلي للذرات المشعة في عينة مادة الأب.

y = عدد مرات نصف العمر التي إستغرقت منذ نشأة المعدن المحتوي على العنصر المشع.

ويمكن قياس N مباشرة بواسطة جهاز مطياف الكتلة (شكل ١٥) بينما تستنتج N_0 من كمية الوليد المتواجد في العينة وبمجرد حساب y من المعادلة السابقة ثم ضَرْبها في قيمة حياة نصف العنصر نحصل على عمر العينة مقدراً بالسنين.



شكل (١٥) رسم توضيحي لجهاز مطياف الكتلة.

(After Thompson *et al.*, 1995, page 340, Figure 15.13. Harcourt Brace College Publishers).

إعتبارات أساسية في التقويم الزمني بالطريقة الإشعاعية : هناك أشياء يجب أن تُراعَى عند إستخدام النظائر لتقويم أعمار الأحداث والحدود الطباقية ومن بين ما يجب مراعاته ما يلي:

١- أن تكون فترة نصف عمر النظير المشع مناسبة للحدث المراد تقديره بحيث يكون طولها كافياً حتى يسمح بتحلل مادة الأب النظير وفي نفس الوقت يجب أن تكون طويلة بدرجة تسمح بتكوين كمية من الناتج الوليد يمكن قياسها. فالكربون المشع يصبح عديم الفائدة في تأريخ أعمار الأشياء التي يزيد عمرها عن ٧٠ر٠٠٠ سنة نظراً لقصر حياة النصف له ، وعلى العكس من ذلك لا يستخدم الروبيديوم المشع في تقدير أعمار الصخور التي يقل عمرها عن ١٠ مليون سنة لأن حياة النصف له طويلة جداً.

٢- يجب معرفة مدى نصف العمر للنظير المشع بدرجة مناسبة من الدقة.

٣- يجب أن يتواجد النيوكليد الأب بكميات معقولة أصلاً في المادة المراد تحديد عمرها. ويفترض عند تشغيل الساعة الذرية ألا يحوي المعدن على أية كمية من مادة الوليد وإلا تطلب ذلك تصحيحاً معيناً.

٤- إمكانية تمييز الوليد الناتج من تحلل مادة النظير الأب من أي مادة مشابهة من الممكن أن تكون متواجدة.

٥- يجب أن تمثل المادة (صخر – معدن أو مادة مشابهة) نظاماً جيوكيميائياً مقفلاً حتى لا تزيد أو تنقص أياً من مادة النظير الأب المتبقي أو مادة الوليد الناتج. وفي حالة هروب أو فقد أحدهما بسبب الظواهر الأرضية المختلفة من مثل عمليات التجوية والتحول والتغير الحراري وغيرها يلزم عمل التصويبات اللازمة لتقدير كمية وزمن المادة المفقودة.

٦-دقة التحاليل والدقة في جمع العينات.

مصادر الشك عند إستخدام النظائر المشعة للتقويم الزمني

: (The Uncertainties of Isotopic Dating)

تتلخص الشكوك في أربعة مجموعات وهي :

١- **الشكوك الطباقية (Stratigraphic Uncertainties)** : وتشمل مشاكل المضاهاة بين المقياس الزمني المستخدم (Chronometer) والأحداث أو الحدود الطباقية المراد تأريخها.

٢- **شكوك في النشأة (Genetic Uncertainties)** : فمثلاً تحديد الزمن صفر للصخر الناري المتداخل يعتمد على معدل التبريد والذي من الممكن أن يختلف من معدن إلى معدن آخر وبالتالي يعطي عمراً أحدث من زمن التداخل الناري. هذا بالإضافة إلى أن الصخر يمكن أن يرث وليداً ناتجاً من الأشعاع لا يمكن تمييزه أو معادن أقدم من الصخر عمراً، وفي بعض الصخور قد تتبلورالمعادن في الصخر المراد تحديد عمره قبل ترسيبه في التتابع الطباقي.

٣- **شكوك تاريخية (Historical Uncertainties)** : تشمل أحداث الديناميكا الحرارية التي من الممكن أن تغير من الزمن صفر للمقياس مثل عملية التحول وتشمل أيضاً التغيرات السطحية مثل التجوية. ومثل هذه الشكوك وشكوك النشأة تعرف بالشكوك الجيوكيميائية.

٤- **الشكوك التحليلية (Analytical Uncertainties)** : مثل أخطاء القياس عند تحديد كميات كل من النظير الوليد والنظير الأب ، الإختلاف في تقانة التحاليل من معمل لآخر، عدم التأكد أو الشك في ثوابت التحلل... وهكذا.

المقياس الحديث للزمن الأرضي (Modern Geologic Time Scale) :

ينقسم الزمن الأرضي إلى زمانين كبيرين هما :

(١) زمان الحياة الخفية (Cryptozoic Eon) : والذي يُقسم إلى قسمين كما يلي من الأقدم إلى الأحدث :

أ- الزمان السحيق (Archean Eon) ويسمى أيضاً زمان الحياة السحقية (The Archeozoic Eon)، ويبدأ مع بداية تكوين أقدم صخور القشرة الأرضية منذ قرابة ٣٨٠٠ مليون سنة مضت وينتهي منذ ٢٥٠٠ مليون سنة. وفي كثير من الأحيان

تكون بداية هذا الزمن مفتوحة. ويقسم هذا الزمان بدوره إلى ثلاثة أحقاب هي الحقب السحيق المبكر (Early Archean) والحقب السحيق المتوسط (Middle Archean) والحقب السحيق المتأخر (Late Archean).

ب- زمان طلائع الأحياء (The Proterozoic Eon) ويبدأ منذ ٢٥٠٠ مليون سنة مضت مستمراً حتى بداية العصر الكمبري (Cambrian). ويقسم إلى حقب طلائع الأحياء المبكرة (Early Proterozoic) وحقب طلائع الأحياء المتوسطة (Middle Proterozoic) وحقب طلائع الأحياء المتأخرة (Late Proterozoic) وتجدر الإشارة هنا إلى أنه قد يكون من المفيد مستقبلاً استخدام مصطلح أجنبي يعبر عن وحدة زمنية أعلى في الرتبة من كلمة الزمان، وهذا المصطلح يمكن تسميته (Supereon) يقابل في اللغة العربية كلمة دهر وذلك حتى يتسنى الابقاء على استخدام مصطلح الحياة الخفية (Cryptozoic) الذي لا يرد في بعض المراجع التي تعتبر الزمان السحيق وزمان طلائع الأحياء في مرتبة (Eon) التي هي أعلى مرتبة زمنية رسمية متداولة الآن.

(٢) زمان الحياة الظاهرة (Phanerozoic Eon) :

يشمل زمان الحياة الظاهرة أحقاب الحياة القديمة (Paleozoic Era) والحياة المتوسطة (Mesozoic Era) والحياة الحديثة (Cenozoic Era). ويمثل جدول (٥) مقياس الزمن الأرضي الحديث بأقسامه المختلفة.

جدول (٥) مقياس الزمـــن الأرضـــي (Geologic Time Scale).

(Modified after the Geological Society of America, 1983; Cooper *et al.*, 1990 and Thompson et al., 1995).

العمر* (مليون سنة)	عهد Epoch	عصر Period		حقب Era	زمان Eon	
٠٫٠١	الحديث Holocene	الرابعي Quaternary	الرابعي Quaternary	الحياة الحديثة Cenozoic	الحياة الظاهرة	PHANEROZOIC
٢	البليستوسين Pleistocene					
٥	البليوسين Pliocene	النيوجين Neogene	الثالثي Tertiary			
٢٤	الميوسين Miocene					
٣٧	الأوليجوسين Oligocene	الباليوجين Paleogene				
٥٨	إيوسين Eocene					
٦٦	باليوسين Paleocene					
١٤٤		Cretaceous	الطباشيري	الحياة المتوسطة Mesozoic		
٢٠٨		Jurassic	الجوري			
٢٤٥		Triassic	الترياسي			
٢٨٦		Permian	البرمي	الحياة القديمة Paleozoic		
٣٢٠		البنسلفاني Pennsylvanian	الكربوني Carboniferous			
٣٦٠		المسيسيبي Mississippian				
٤٠٨		Devonian	الديفوني			
٤٣٨		Silurian	السيلوري			
٥٠٥		Ordovician	الأوردوفيشي			
٥٧٠		Cambrian	الكمبري			
١٠٠٠				طلائع الأحياء الحديثة Neo Proterozoic	طلائع الأحياء PROTEROZOIC	الحياة الخفية CRYPTOZOIC
١٦٠٠				طلائع الأحياء المتوسطة Meso Proterozoic		
٢٥٠٠				طلائع الأحياء القديمة Paleo Proterozoic		
٣٠٠٠				الأركي المتأخر Late Archean	السحيق ARCHEAN	
٣٤٠٠				الأركي المتوسط Middle Archean		
٣٨٠٠				الأركي المبكر Early Archean		
≅ ٤٦٠٠	الغابر HADEAN (ما قبل الزمن الأرضي Pregeologic history of the earth)					

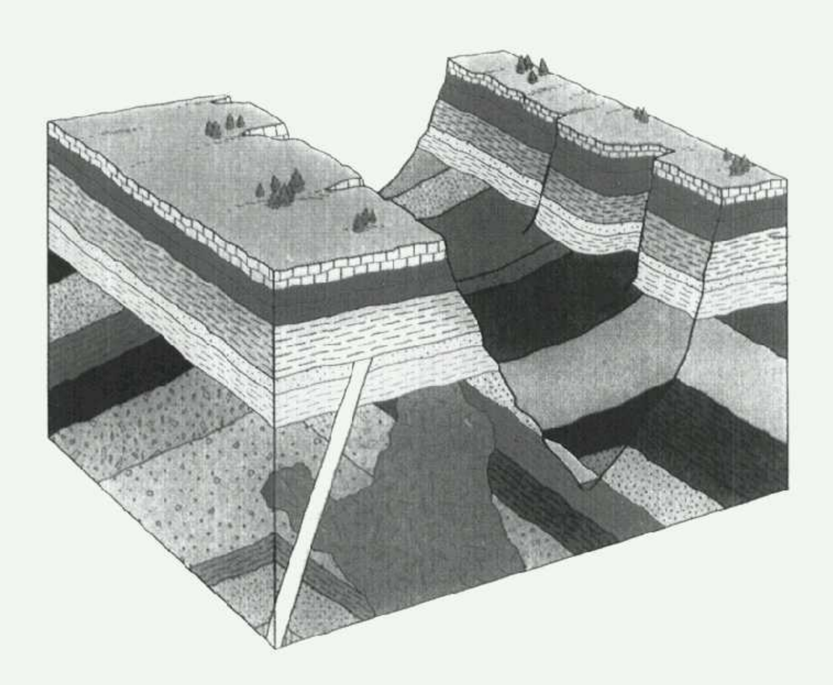
* **ملاحظة**: الأرقام المذكورة تمثل أزمنة حدود تقسيمات مقيـــاس الزمـــن الأرضـــي.

الفصل الرابع

مبادئ أساسية

لعلم الأرض التأريخي ودراسة طبقات الأرض

- مبدأ التعاقب • مبدأ التوضع الأفقي الأصلي • مبدأ الاستمرارية الجانبية الأصلية
- مبدأ علاقات القطع والمكتنفات • مبدأ التعاقب الأحفوري • مبدأ البصمة المغناطيسية القديمة.



مبادئ أساسية لتأريخ الأحداث الأرضية .

(After Plumer/McGeary, 1996, Page 171, Figure 8.20; Wm. C. Brown Publishers).

مبادئ أساسية
لعلم الأرض التأريخي ودراسة طبقات الأرض
(Principles of Historical Geology and Stratigraphy)

تمثل المبادئ "القوانين" التالية أهم أساسيات هذا الفرع من أفرع علوم الأرض، وتستخدم بنجاح في معرفة الأعمار النسبية للصخور وفي ترتيب الأحداث زمنياً:

١- مبدأ التعاقب (Principle of Superposition).

٢- مبدأ أفقية التوضع (Concept of Initial Horizontality) ، و مبدأ المستوى المرجعي (Principle of Datum Surface).

٣- مبدأ الإستمرارية الجانبية الأصلية (Principle of Original Lateral Continunity).

٤- مبدأ علاقات القطع (Principle of Cross-Cutting Relationships)، و مبدأ المكتنفات (Principle of Inclusions).

٥- مبدأ تتابع الحياة (Principle of Faunal Succession).

٦- مبدأ تتابع البصمة المغناطيسية القديمة (Principle of Paleomagnetic Signature Succession).

وسوف نشير أولاً إلى وجهتي نظر متعلقتين بتلك الأسس قبل الحديث عن كل مبدأ بالتفصيل، وهما :

أولاً : يضم البعض المبادئ الخمس الأولى بالإضافة إلى قانون والتر (الذي يعالج تتابع السّحنات) تحت مبدأ رئيسي من مبادئ علم الأرض التأريخي وهو مبدأ العلاقات المكانية للأجسام الصخرية والمعدنية (Principle of Positional Relationships of Rocks and Mineral Bodies). ويرى أصحاب هذا المبدأ الشامل أن جميع الدراسات الخاصة بأي مظهر من مظاهر الصخور كالتركيب الحجري والمغناطيسية ونسب النظائر وغيرها تعتمد على هذا المبدأ.

ثانياً : يميز آخرون بين مبدأين منفصلين تعتمد عليهما تفسيرات تاريخ الأرض حيث يرتب كل منهما المشاهدات الحقلية في أحداث متعاقبة ويشملان :

١- منطق التعاقب : وهو يعني ترتيب الأحداث المسجلة بطريقة تكرارية وهذا ما تشير إليه كلمة طباقية (Stratigraphy).

٢- منطق يهتم بالتأريخ الزمني (Geochronology).

١ - مبدأ التعاقب (Principle of Superposition) :

يَنُص مبدأ التعاقب على أنه في أي تتابع خالي من الإضطراب (Undisturbed)، تقع الطبقة الأقدم في قاع القطاع والطبقات المتتابعة لأعلى تتدرج إلى الأحدث. وبمعنى آخر فـإن أقـدم الطبقات تشغل قاع التعاقب الطباقي (Stratigraphic Succession) بينما تقع أحدث الطبقات في قمته. وبناءً على ذلك فعند قياس التتابعات الصخرية المنكشفة عند حافة جرف من أسفل إلى أعلى فإننا نرحل صعوداً مع الزمن (شكل ١٦).

٢ - مبدأ التوضع الأفقي الأصلي (Concept of Original Horizontality) :

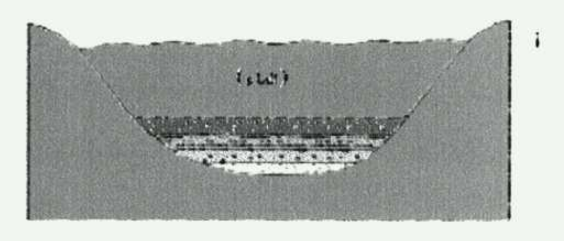
ينُص هذا المبدأ على أن الطبقات الرسوبية قد تَوَضَّعت في الأصل على هيئة طبقات أفقية (شكل ١٧) ويعني ذلك أن الطبقات التي نراها في توضُعات مائلة أو رأسية كانت في الأصل طبقات أفقية ثم أصابها التشوه في زمن لاحق مما أدى إلى ثنيها أو تصدعها. ويري البعض أن التَّوضُع الأفقي قد لايحدث في جميع الحالات ، فالرواسب القارية على سبيل المثال قد تتوضَّع على أسطح منحدرة، والتطبق المتقاطع (Cross-Bedding) يمثل طبقات مترسبة أصلاً في توضعات مائلة حينما ينظر إليها منفصلة، ولكن صورتها العامة تعكس توضعاً أفقياً. والتَّوضُع الأفقي يحدث نتيجة إستقرار الجسيمات بفعل الجاذبية الأرضية. وقد أعيدت صياغة هذا المبدأ على الوجه التالي : كل الرواسب سوف تتوضع في الأصل بزاوية توضع (Angle of Repose) (أقصى زاوية لتَوضُع الرواسب على الأسطح المنحدرة) وفي كثير من الحالات تكون هذه الزاوية أفقية تقريباً.

والجدير بالذكر أن فكرة باريل (Barrell) عن مستوى القاعدة العام Base Level يعد تجديداً لفكرة التَّوضُع الأفقي، فهو يعرف مستوى القاعدة العام على أنه المستوى الأفق تقريباً الذي يتحكم في ترسيب الرواسب. ويرى أن عمليات الترسيب والتآكل يحكمهما هذا المستوى ومن هذه الفكرة إشتق ويلر (Wheeler) مبدأه المعروف بإختلاف السطح العام (Datum Surface Variance) والذي ينص على أن كثيراً من حدود الوحدات الصخرية والأسطح الأخرى أو النطق يتقاطع بعضها مع بعض أو تكون فيما بينها علاقات زَاويَّة أو تتوافق زمنياً.

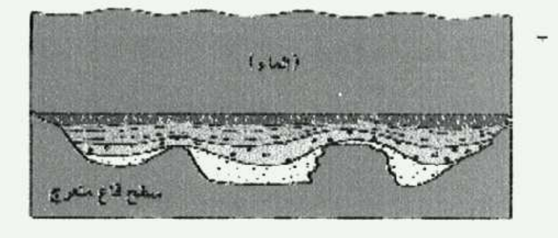


شكل (١٦) مبدأ تعاقب الطبقات. في أي تتابع رسوبي طبيعي (يمين الصورة) تتكون صخور قاع التتابع أولاً ثم يليها الصخور بحيث تكون الطبقات العليا في قمة التتابع تمثل أحدثها عمراً.جبل مندور – شمال سيناء – مصر (صورة التقطت بواسطة المؤلف).

أ



ب



شكل (١٧) مبدأ أفقية التَّوضُّع. أ– تميل الرواسب إلى أن تتكون على هيئة طبقـات أفقيـة ، ب– حـتى الطبقات التي تَتَوضَّع في الأصل فوق سطح غير مستوٍ تميل إلى التَّوضُّع الأفقي.

(From Montgomery, 1993, Page 152, Fig. 8.2).

توضع الطبقات الرسوبية المشوهة بنائياً : والآن بعد أن ذكرنا مبدئي التعاقب وأفقية التوضع كيف يمكننا تطبيق المبدأ الأول من أجل معرفة التتابع الأصلي للطبقات المشوهة تشوهاً كبيراً لدرجة أن الطبقات تصبح رأسية، أو تنقلب رأساً على عقب، أو تنزلق بعضها فوق بعض، (أشكال ١٨ – ٢١). والإجابة على هذا السؤال ليست أمراً يسيراً في معظم الحالات وعلينا أن نستعين بأمرين هما :

أ- مضاهاة الطبقات المشوهة بأخرى سوية في قطاع آخر.

ب- إستخدام البنيات الرسوبية الأولية (Primary Sedimentary Structures) في معرفة القاع والقمة bottom and top للطبقات المشوهة.

وسوف نتناول موضوع المضاهاة فيما بعد، ونشير هنا إلى الموضوع الثاني إشارة عابرة بما يفيد في تحديد الوضع الطباقي.

بعض البنيات الرسوبية المفيدة في معرفة التعاقب :

تمثل البنيات الرسوبية الأولية (Primary Sedimentary Structures) ظواهر مرئية تكونت أثناء الترسيب، وهي إما داخلية محفوظة داخل الطبقات أو خارجية تميز الأسطح الطباقية (جدول ٦) و(شكلا ٢٢ و٢٣).

١- بنيات خارجية :

أ- تميز الأسطح الطباقية العلوية :

- علامات النيم (Ripple Marks). – التشققات الطينية Mud Cracks.
- الحفر الرأسية بواسطة عدد من الحيوانات (Vertical Animal Burrows).

ب- علامات القاع Sole Structures.

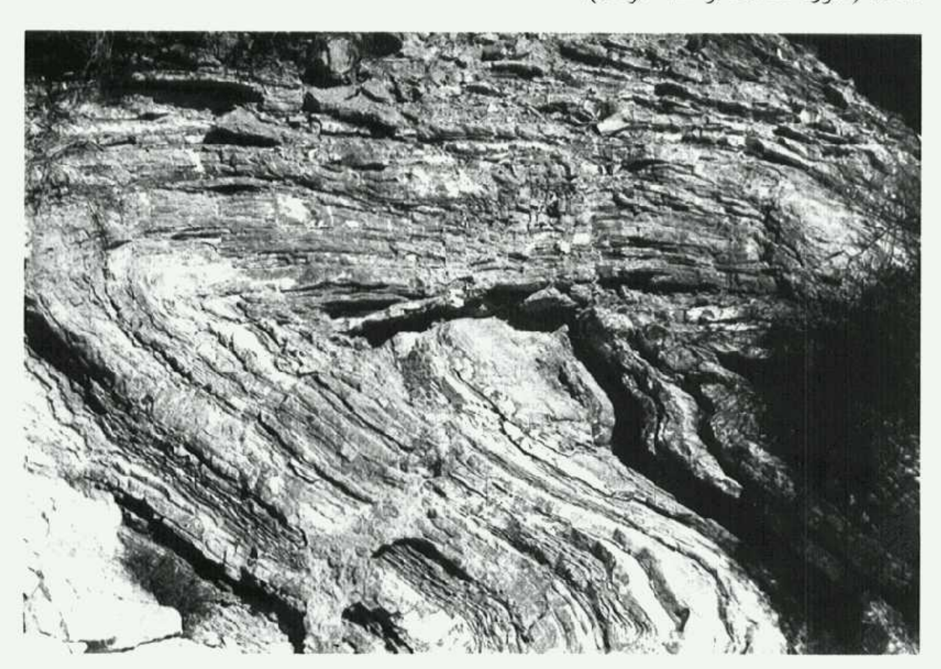
- طوابع الأبواق (Flute Casts). – طوابع التخطط (Groove Casts).
- طوابع الثقل (Load Casts). – طوابع علامات النيم (Ripple Mark Casts).
- الأحافير الأثرية (Trace Fossils).

٢- بنيات داخلية :

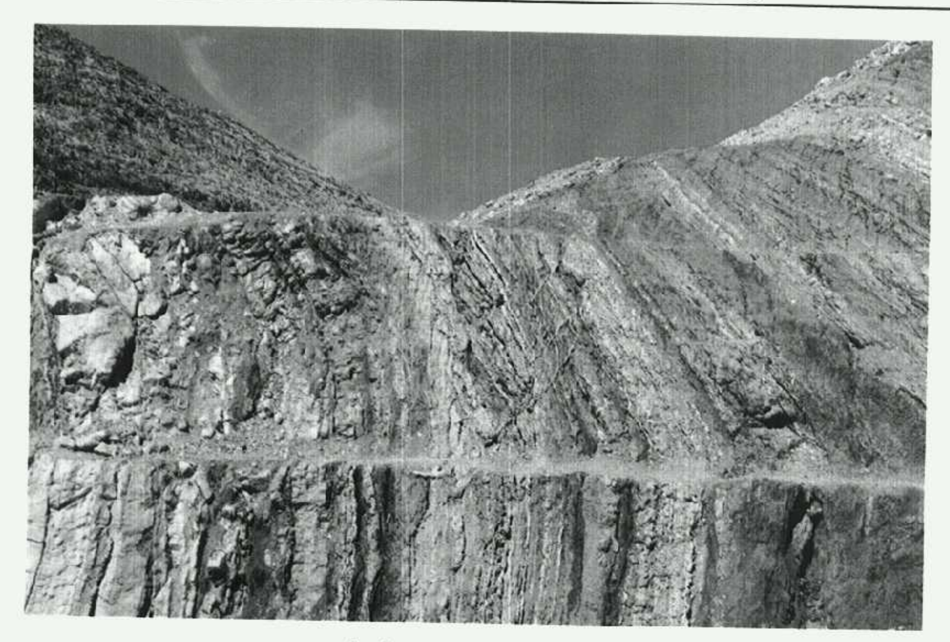
- التطبق المتقاطع (Cross Stratification).
- التطبق المتدرج العادي (Normal Graded Bedding).
- ألهبة الطين (Flames Of Mud).



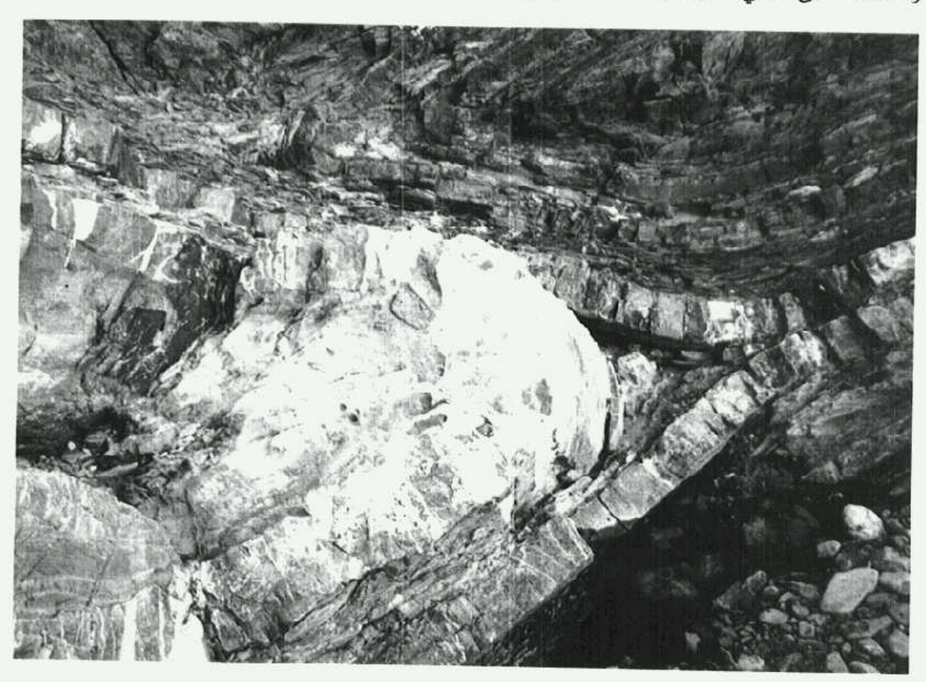
شكل (١٨) طية مقلوبة ، تتكون من طبقات الحجر الرملي ، بمجموعة الحواسنة–وادي الحواسنة – سلطنة عُمان. (صورة التقطت بواسطة المؤلف).



شكل (١٩) طية مُضطَّجعة ، مجموعة الحواسنة–وادي الحواسنة –جبال عُمان الشمالية – سلطنة عُمان. (صورة التقطت بواسطة المؤلف).



شكل (٢٠) طبقات الطَّفْلة متعددة الألوان المُتوضِّعة رأسياً تقريباً والمُتَصَدِّعة نتيجة عمليات التشوه والمُتَكَشِّفة على جانبي الطريق في منطقة الخوض-سلطنة عُمان. (صورة التقطت بواسطة المؤلف).

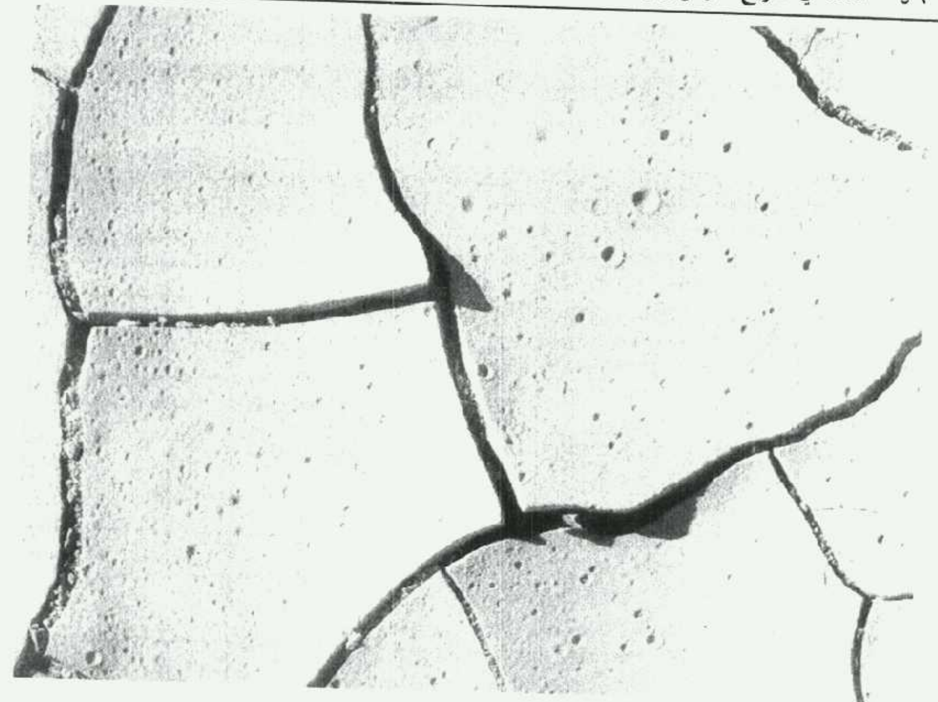


شكل (٢١) طبقات مجموعة الحواسنة وقد تغير تَوضُّعها نتيجة لعمليات الطَّي العنيف -وادي الحواسنة - سلطنة عُمان. (صورة التقطت بواسطة المؤلف).

جدول (٦) البِنْيات الرسوبية الأولية المفيدة في تحديد القمة الطباقية والقاع.

(Modified after Cooper *et al.*, 1990, page 140, Figure 5.5, Merrill Publishing Company).

البِنْيـة	الوصف	الرسم
بنيات خارجية		
علامات النيم	تشير القمم الحادة إلى قمة الطبقة.	
شقوق الجفاف	تتقعر لأعلى المساحات بين الشقوق.	
الحفر الرأسية للكائنات	الحفر مقطوعة عند قمة الطبقة.	
بنيات القاع		
قوالب الأبواق	يتميز سطح القاع بوجود تضريس موجب.	
قوالب التخطط		
قوالب الثقل		
قوالب علامات النيم	تشكل القمم الحادة طابعات سالبة على سطح قاع الطبقة.	
حفريات المسار	تحفظ قوالب المسارات على هيئة قوالب على قاع الطبقة.	
بنيات داخلية		
التطبق المتقاطع	يقطع التطبق المتقاطع بحدة نحو قمة الطبقة.	
التطبق المتدرج العادي	يتدرج حجم الحبيبات من الخشن في القاع إلى الناعم في القمة.	

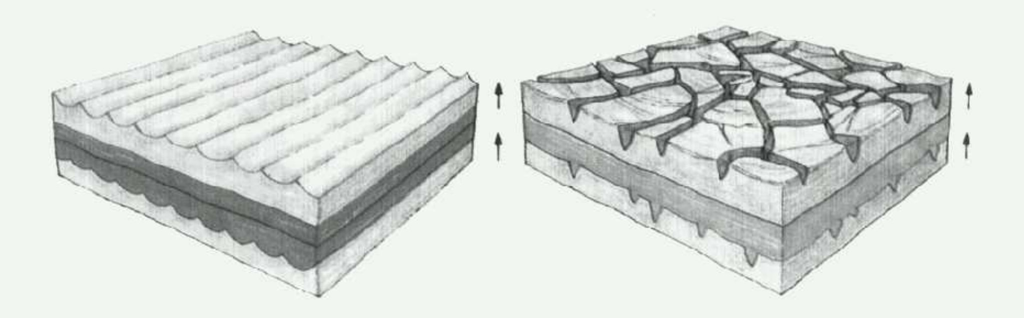


شكل (٢٢) الشقوق الطينية وطوابع قطرات المطر.
(From Montgomery, Page 106)



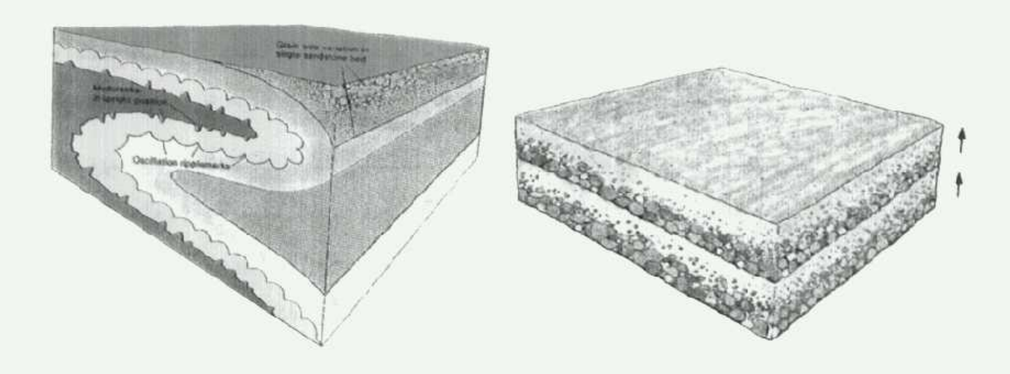
شكل (٢٣) طوابع أبواق مزدحمة متكونة على قاعدة طبقة حجر رملي – العصر الكربوني – تكساس.
(From Pettijohn and Potter, 1964 in Blatt, 1982, Page 729, Fig. 4-24).

ويشير شكل (٢٤) إلى تطبيق البُنْيات السابق ذكرها في تحديد الوضع الأصلي للطبقات.



أ- الشقوق الطينية (Mudcracks)
الشقوق ضيقة لأسفل ومفتوحة لأعلى.

ب- علامات النيم المتذبذبة (Oscillation ripplemarks)
القمة تشير إلى أعلى.



جـ - طبقات الحمولة المتدرجة (Graded beds)
الحبات الخشنة في القـــاع.

د- إستخدام بنيات القمة والقاع
في معرفة تتابع الطبقات الرسوبية المشوهة.

شكل (٢٤) إستخدام البُنيات الرسوبية الأولية في تحديد الوضع الأصلي للطبقات.

(From Ludman, 1993, P. 186 and 187, Figs. 13.3 and 13.4).

٣ -مبدأ الإستمرارية الجانبية الأصلية

عادة ما تقسم الطبقة المترسبة حال تكونها بإستمرارها جانبياً، حيث تمتد في الفراغ لمسافة ما، ثم تنتهي عند حافة حوض الترسيب، حيث يصبح سمكها صفراً أو تستدق بإستمرار حتى تمتزج في طبقة أخرى مثل تغير سحنة الطبقة من حجر رملي إلى حجر طيني.

إن تتبع الطبقات على جانبي واد أو طريق يشق الصخور يدل على إستمرارية الصخور جانبياً. وقد تظهر الطبقة جانبياً لتشمل المستوى المحلي أو حتى المستوى الإقليمي، إلا أنه من الصعب تصور طبقة ممتدة على المستوى العالمي. وتمثل بعض الطبقات الممتدة أهمية زمنية تشير إلى لحظة معينة في تاريخ الأرض مثل طبقة الرماد البركاني (Volcanic Ash Bed) وغيرها من الطبقات المُحَدِدة (Marker Beds). والجدير بالذكر أن أسطح الطبقات الممتدة جانبياً قد تتطابق مع الخطوط الزمنية (Time Lines) أو تتقاطع معها ، بمعنى أن السطح العلوي أو السفلي لطبقة ما أو لوحدة صخرية معينة قد يتكافأ زمنياً في أماكن مختلفة وقد يختلف عمرها جانبياً من مكان لآخر (أنظر شكل ٩٢).

٤ -مبدأ علاقات القطع والمُكتنفات

علاقات القَطْع : يعتمد مبدأ علاقات القَطْع على أن القَاطِع أحدث عمراً من المقطُوع. والقَاطِع قد يكون جسماً صخرياً (غالباً من صخور نارية) وقد يكون صدعاً أو سطح عدم توافق. والمقطُوع هو أي جسم صخري ناري كان ، أم رسوبي أم متحول.

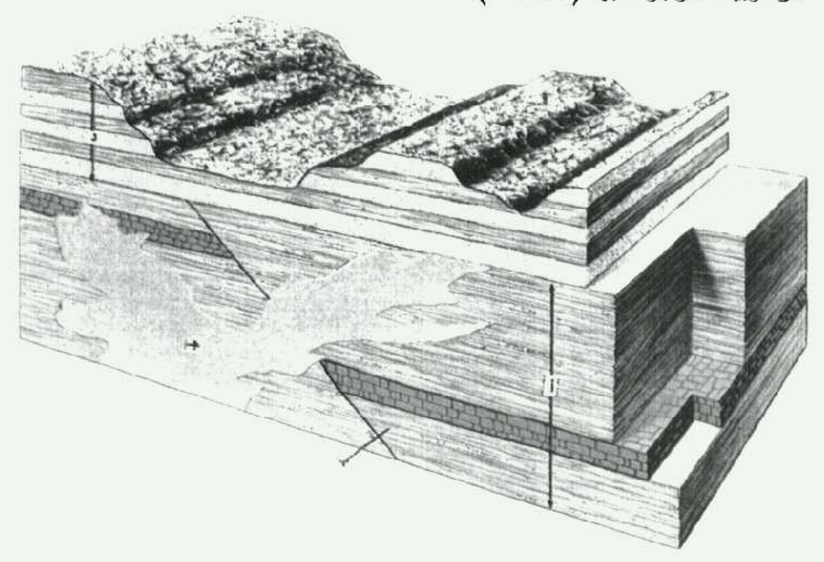
ويستخدم مبدأ علاقات القَطْع بالتضافر مع مبدأ التعاقب بنجاح كبير في تقدير أعمار التتابعات الرسوبية سواء النسبية منها (Relative Age) أو تقدير فترة ديْمُومة الأجزاء المختلفة من التتابعات الرسوبية بطريقة مطلقة حيث يمكن :

١- تقدير تتابع الأحداث الأرضية في ضوء تسلسل عمليات الترسيب والتصدع والتداخلات النارية وعمليات التحات ثم الترسيب المُعاد وهكذا (شكل ٢٥).

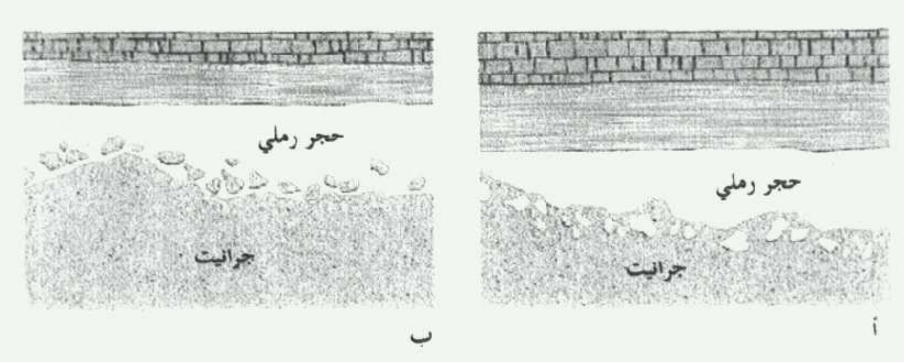
٢- تقدير ديْمُومة ترسيب الطبقات الرسوبية التي تحدها من أسفل ومن أعلى فيوضات الحمم (Lava Flows) أو الرواسب الفتاتية البركانية (Pyroclastic Deposits) المُقدَّر أعمارها بطريقة النظائر وذلك على أساس أن جميع الطبقات قد تعاصرت أزمان تكوينها.

٣- كثير من الصخور الرسوبية المحيطة (Bracketing) بالصخور النارية المرتكزة فوقها لها معها علاقات تقاطع وبالتالي يمكن القول أن الصخور الرسوبية أحدث من أو أقدم من الصخور النارية وحينئذٍ يمكن مراجعة الأعمار النسبية للصخور الرسوبية.

مبدأ "قانون" المُكتنَفات **(Principle or "Law" of Inclusions)** : ينص هذا المبدأ على أن الجسيمات الغريبة (Xenoliths) المتواجدة في صخر ما، مثل جلاميد الحصى المتواجدة في الرصيص (Conglomerates) يجب أن يكون أسبق في التواجد (وبالتالي أقدم) من الصخر أو الطبقة الرسوبية الموجودة بها (شكل ٢٦).



شكل (٢٥) تقدير تتابع الأحداث الأرضية من القديم إلى الحديث بإستخدام مبدأ القَطْع ومبدأ التعاقب حيث ترسبت مجموعة الطبقات (أ) ثم أصابها التشوه وقطعها الصدع (ب) ثم ألقت الأرض جسماً قاطعاً نارياً (حـ) على هيئة جسم ناري تصلب من الصهير المتداخل ، ثم تعرضت الصخور للتآكل ثم ترسبت مجموعة ثانية من الطبقات (د) التي أخذت العوامل الخارجية في تشكيلها في شكلها الحالي.
(From Thompson *et al.*, 1995, page 331, 1995, by Harcourt Brace Company).

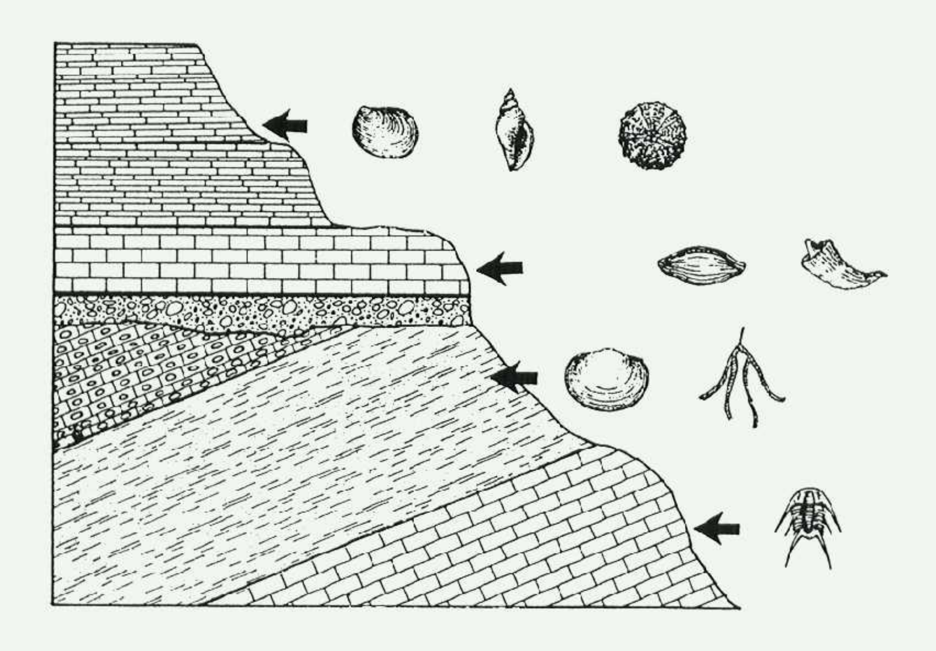


شكل (٢٦) قانون المُكتنَفات. أ- مُكتنَفات الحجر الرملي في الجرانيت تدل على أن الحجر الرملي هو الأقدم. ب – مُكتنَفات الجرانيت في الحجر الرملي تدل على أن الجرانيت هو الأقدم.
(From Thompson *et al.*, 1995, page 331, 1995 by Harcourt Brace Company).

وقد قامت اللجنة الفرعية العالمية للتصنيف الطباقي حديثاً بإعادة صياغة مبدأ علاقات القَطْع والمُكتَنَفات على النحو التالي : "الجسم المتداخِل (Intrusive Body) يكون أصغر من الجسم الذي تداخل فيه، وأقدم عمراً من ذلك الذي قَطَعَه ، والجسم الصخري سواءً المتداخِل أو المتحول يكون أقدم من الطبقات المُتوضّعة لا توافقياً فوقه وأيضاً يكون أقدم من الرواسب الفتاتية التي تحتوي على نواتج عمليات التعرية".

٥ – مبدأ التعاقب الأحفوري (Fossil Succession) :

يعد مبدأ التعاقب الأحفوري (شكل ٢٧) من أهم مبادئ تاريخ الأرض والطباقية الحياتية. وينسب هذا المبدأ إلى وليم سميث (William Smith) الذي وجد أنه يمكن تقسيم الطبقات المتماثلة صخرياً إلى أجزاء مختلفة إستناداً إلى محتواها الأحفوري (Fossil Content). وحيث أن الأحافير الموجودة في الطبقات الرسوبية تمثل خلقاً متجدداً ومتعاقباً فإنها تلعب أهمية كبرى في تقدير الأعمار النسبية للصخور. وإذا كانت الرواسب تتشابه في تتابعاتها الصخرية في الأزمنة المختلفة نتيجة لتشابه ظروف الترسيب السائدة فإن الأحافير تتواجد في الطبقات بصورة مرتبة منتظمة حيث يتداول الزمن بين سلسلة رائعة من الخلق.

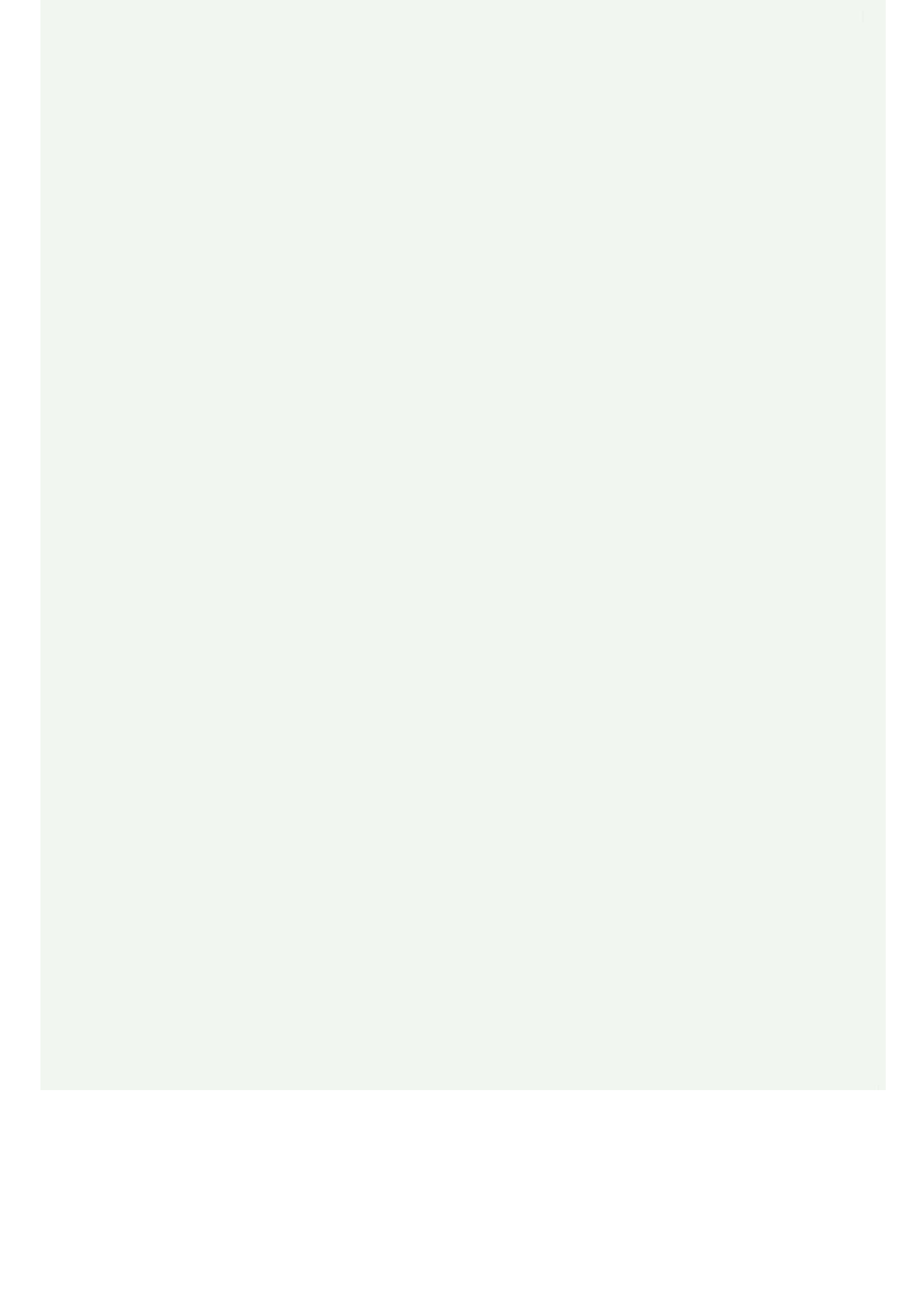


شكل (٢٧) مبدأ التعاقب الأحفوري حيث تحتوي كل طبقة على أحافيرها المميزة والتي تختلف عن أحافير الطبقات الأخرى.

(From Spencer, 1962, page 10, Fig. 1-4; 1962 by Thomas Y. Crowell Company).

٦ – مبدأ البصمة المغناطيسية القديمة (Paleomagnetic Signature) :

أثبتت الدراسات المغناطيسية الحديثة أن الصخور تحتفظ بالمغناطيسية القديمة (Paleomagnetism). فحينما تتبلور المعادن الحاملة للحديد عند تبرد الصهير والحمم فإنها تحفظ إتجاه المجال المغناطيسي للأرض السائد وقت تبلورها. وكذلك الحال بالنسبة للصخور الرسوبية فإن جسيماتها تستقر بحيث يكون مجالها المغناطيسي متطابقا تماما مع المجال المغناطيسي للأرض السائد وقت ترسيبها. ولذا فإنه يمكننا إعادة تصور تاريخ المجال المغناطيسي للأرض عن طريق دراسة البصمة المغناطيسية في الصخور ذات الأعمار المختلفة في مناطق مختلفة. وقد أدت هذه الدراسة إلى إكتشاف خاصية في غاية الغرابة وهي خاصية القطبية المغناطيسية (Magnetic Polarity) ، حيث ثبت أن المغناطيسية الأرضية تنعكس عبر الزمن بمعنى أن القطب الشمالي يصبح قطبا جنوبيا والعكس صحيح. وبناء على ذلك يظهر تتابع الصخور تعاقبا مابين القطبية العادية (Normal Polarity) حيث يكون إتجاه المجال المغناطيسي موازيا لإتجاه المجال المغناطيسي الحالي والقطبية المنعكسة (Reversed Polarity) حيث يعاكس إتجاه المجال المغناطيسي القديم إتجاه المجال المغناطيسي الحالي للأرض. ومن هنا يمكن تقسيم الصخور المتعاقبة وفقا لبصمتها المغناطيسية إلى وحدات طباقية مغناطيسية تعد أساس الطباقية المغناطيسية (Magentostratigraphy) التي تمثل فرعا حديثا من أفرع الطباقية.



الفصل الخامس

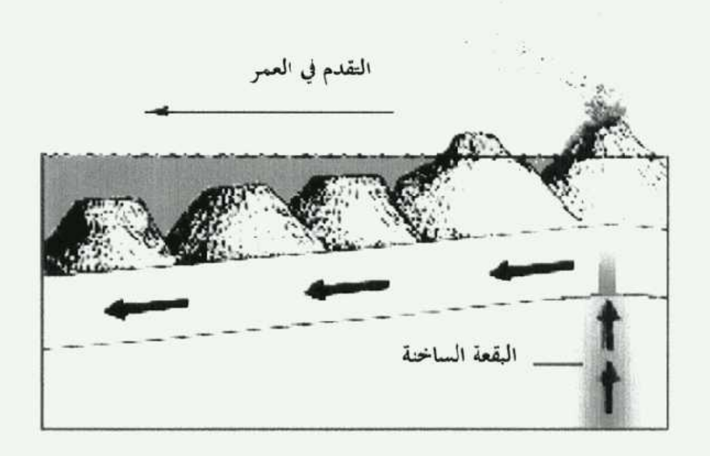
قطع الأرض والألواح البنائية

- الزحف القاري
- شواهد الزحف القاري
- نظرية الألواح الأرضية

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿ وَتَرَى ٱلْجِبَالَ تَحْسَبُهَا جَامِدَةً وَهِىَ تَمُرُّ مَرَّ ٱلسَّحَابِ صُنْعَ ٱللَّهِ ٱلَّذِىٓ أَتْقَنَ كُلَّ شَىْءٍ إِنَّهُۥ خَبِيرٌۢ بِمَا تَفْعَلُونَ ﴿٨٨﴾ ﴾

النمل – ٨٨.



البراكين القديمة كانت تحتل موقع البركان النشط في أزمنة ماضية قبل أن تمر يسارا.

(From Plumer and MacGeary, 1996, page 445, Fig.19.47)

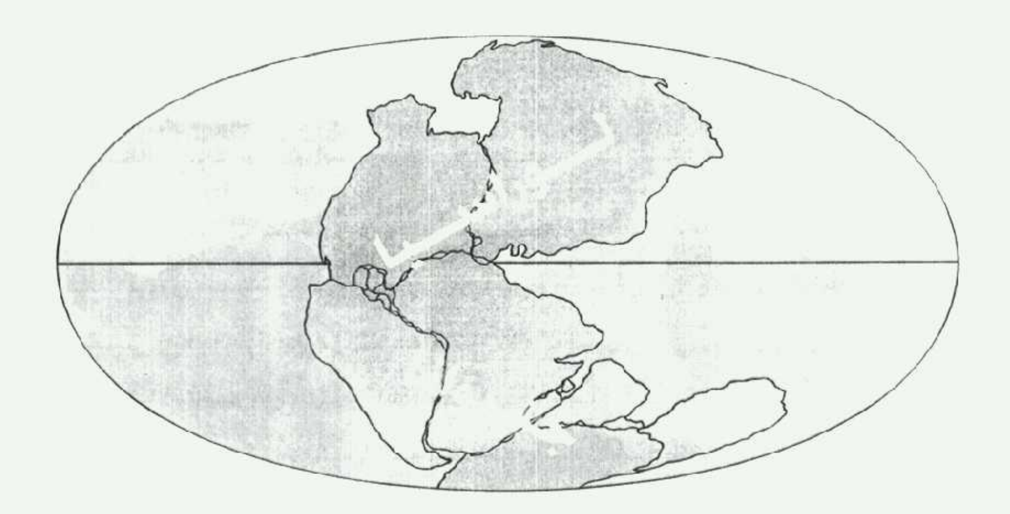
قطـع الأرض والألواح البنائية

الزحف القاري (Continental Drift) :

يعنـي زحـف القـارات زحزحتـها فـي المكـان علـى سـطح الأرض. وقـد لاحظ الأقدمون ذلـك التشـابه العجيـب بيـن حـواف القـارات علـى جـانبي المحيـط الأطلسـي (Atlantic Ocean) إبتـداءً مـن فرنسـيس بيكـون (Francis Beacon) عـام ١٦٢٠م ومـروراً ببيفـون (Buffon) الـذي أشـار إلـى التشـابه بيـن الكائنـات في كل من أوروبـا وأمريكـا الشـمالية. هـذا وقـد لاحـظ الكسـندر فـون هـامبولدت (Alexandar Von Hamboldt) عـام ١٨٠٠م التشـابه بيـن سـواحل قـارتي أفريقيـا وأمريكـا الجنوبيـة واعتـبر المحيـط الأطلسـي مـا هـو إلا واديـاً كبـيراً منحوتاً بفعـل الميـاه.

وفـي نهايـة القـرن الثـامن عشـر لاحـظ الجيولوجـي الأسـترالي إدوارد سـويس Edward Suess أن السـجل الجيولوجـي يكـاد يكـون متمـاثلاً فـي كـل مـن أمريكـا الجنوبيـة وأفريقيـا، والـهند، وأسـتراليا. ومـن هنـا فكـر فـي أنـهنَّ كـنَّ متحـدات فـي وقـت مـا مـن الزمـن المـاضي مكونـات قـارة عملاقـة، أسـماها جندوانـالاند (Gondanaland) نسـبة إلـى مجموعـة مـن الصخـور فـي أحـد أقـاليم الهند يحمـل نفـس الإسـم ويُعْـرَف بـأرض الجونـد أو جندوانـا (Gondwana).

ويُعـد الفريـد فـاجنر (Alfred Wegner) (١٨٨٠م – ١٩٣٠م) صـاحب مبدأ زحف القـارات وقـد كـان أول مـن أشـار إلـى وجـود كتلـة كبـيرة جـداً مـن اليابسـة كونـت قـارة عملاقـة إسـمها بانجيـا (Pangaea) تكونـت مـن إلتحـام القـارات القديمـة وإن كـان البعـض يـرى أن الإلتحـام القـاري لـم يكـن كـاملاً ويفضـل إطـلاق كلمـة لوراسـيا (Laurasia) علـى الكتلـة القاريـة الشـمالية وكلمـة جندوانا على الكتلـة القاريـة الجنوبيـة (شـكل ٢٨). وقـد توقـع فـاجنر أن بانجيـا أخـذت تتحطم في حقـب الحيـاة المتوسـطة وتبـاعدت أجزاؤهـا تدريجيـاً حتـى أخـذت أشـكالها ومواضعها الحاليـة.



شكل (٢٨) البانجيا أو القارة العملاقة التي تمثل كل الأرض ، التي تخيل فاجنر وجودها منذ ٢٠٠ مليـــون سنة مضت حيث أطلق على الجزء الشمالي منها إسم لوراسيا وعلى الجزء الجنوبي منها إسم جندوانا لاند.

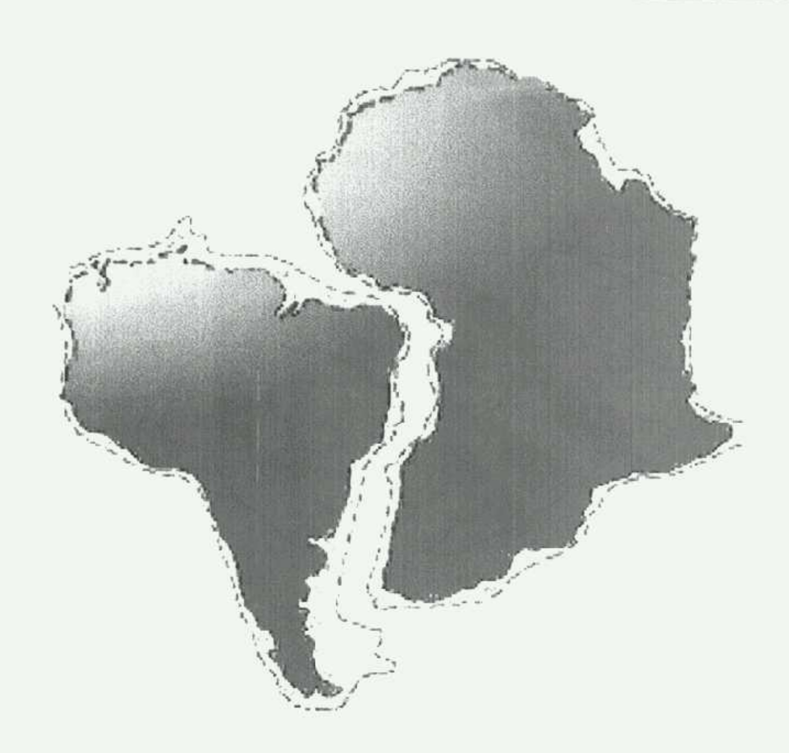
(After Dietz and Holden, 1990; by the American Geophysical Union).

شواهد الزحف القاري:

تجمعت مجموعتان من الشواهد الدالـــة علـــى الحيـــود القـــاري منـــها شـــواهد مبكـــرة قديمة وشواهد أخرى حديثة نوجزها فيمـــا يلـــي :

١– شـــاهد جغرافـــي (Geographic Evidence) :

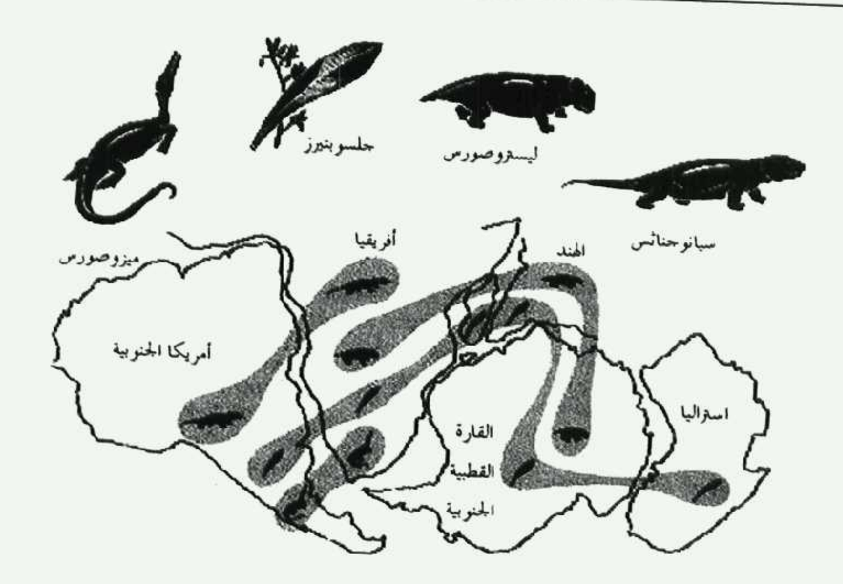
كما ذكرنا من قبل أنه قد لوحظ تطـــابق عجيـــب بيـــن خـــط الســـاحل الشـــرقي لقـــارة أمريكا الشمالية وخط الساحل الغربي لقـــارة أفريقيـــا (شـــكل ٢٩). وأيضـــاً لوحـــظ تشـــابه الوحدات والبنيات الصخرية علـــى جـــانبي شـــواطئ الأطلســـي والتطـــابق الواضـــح فـــي طباقية وأحافير نصف الكرة الجنوبي في أثناء جـــزء محـــدد مـــن الزمـــن الأرضـــي كمـــا يتضح من دراســـة متكونـــات جوندوانـــا (Gondwana Formations) فـــي الـــهند وجنـــوب أفريقيا ومدغشقر وأمريكا الجنوبية وجـــزر فوكلانـــد.



شكل (٢٩) التكامل التداخلي للحواف القارية لكل من قارتي أمريكا الجنوبية وأفريقيا يدعونا لتصور أنهما كانتا متحدتين في وقت ما ثم انفصلتا فيما بعد مما يعزز نظرية الزحف القاري.
(From Montgomery, page 176, Fig. 9.1; 1993 by Wm. C. Brown Publishers).

٢ – شاهد من السجل الأحفوري (Faunal and Floral Evidence) :

إن توزيع نباتات جندوانا في القارات الجنوبيـــة يشـير إلـى أنَّ هـذه القـارات كـانت متصلة بعضها ببعض يومـاً مـا ، وينحصـر وجـود نبـات مـن جنـس الجلوسـوبتيرز (*Glossopteris*) في المناطق الواقعة جنوب بحر التيثـس (Tethys). وفـي نفـس الأزمنـة تختلف النباتات الموجودة شمال بحـر التيثـس عـن الموجـودة جنوبـه. ومـن المسـتبعد انتقال بذور نبات الجلوسوبتيرز لمسافة طويلة نظـراً لأنـها ثقيلـة وكبـيرة الحجـم، ممـا يؤكد التحام القارات الجنوبيـة (أمريكـا الجنوبيـة وأفريقيـا والقـارة القطبيـة الجنوبيـة، واستراليا ونيوزلنده، وشبه القارة الهندية) في كتلـة واحـدة (شـكل ٣٠).



شكل (٣٠) إعادة تصور وضع جندوانا في ضوء توزيع بعض أحافير النباتات القديمة والزواحف مثل زواحف الميزوصورس وغيره في صخور كل من البرمي والترایاسي.
(From Colbert, 1973, page 68, Figs. 30, 31; by E. D. Dutton and the Hutchison Publishing Group LTD).

كذلك يدل توزيع الزواحف في أماكن متفرقة من جندوانا مثل زاحف الميزوصورس *(Mesosaurs)* في كل من جنوب أفريقيا وجنوب البرازيل، وكذلك زاحف ليستروصورس *(Lystrosaurs)* وهومن زواحف العصر الترایاسي الموجود في كل من جنوب أفريقيا والهند وجنوب شرق آسيا والقارة القطبية الجنوبية، وكذلك زاحف سيانوجناثس *(Cyanognathus)* في كل من الأرجنتين وجنوب أفريقيا، وتشير التواجدات الأحفورية السابقة إلى إتحاد ما بين قِطَع جندوانا أثناء إزدهار هذه الكائنات.

٣– شواهد من إتجاه وتوزيع الجليد (Glacial Evidence) : قد تعطي الإعتبارات المناخية دليلاً يدعم نظرية الزحف القاري حيث تلعب خطوط العرض دوراً رئيسياً في تحديد المناخ السائد، ففي المناطق الإستوائية يكون المناخ أدفأ مما في المناطق القطبية وتكون درجة الحرارة أكثر إعتدالاً بينهما. وبطبيعة الحال فإنّ الصخور الرسوبية تعكس أيضاً الظروف المناخية السائدة أثناء زمن ترسيبها وكذلك الحال بالنسبة للنباتات. وقد لوحظ أن رواسب الْحريث الجليدية (Till and Tillites) لم تكن فقط موجودة في أماكن بعيدة عن الأقطاب الحالية (مثل الهند وأفريقيا)، ولكن إتجاهات الزحف الجليدي القديم كانت تتجه بعيداً عن خط الإستواء ونحو الأقطاب، وهذا يشير إلى إلتحام القارات في أزمنة ماضية وكانت المجالد تزحف عبر مساحة واحدة من الأرض (شكل ٣١).





شكل (٣١) توزيع واتجاهات الزحف الجليدي في جندوانا يعضد نظرية الزحف القاري، تشير الأسهم الى اتجاه زحف الجليد. أ- مواقع القارات الحالية موضح عليها الانتشار الواسع للمجالد القديمة، ب- أماكن المجالد فى قارة بانجيا.

(From Arther Holmes, 1965 *2nd ed*., Ronlad Press).

وتجدر الإشارة إلى أنّ فكرة الزحف القاري لم تحظ في البداية بالقبول بين علماء الأرض في نصف الكرة الشمالي، بل لقيت معارضة شديدة في حين قوبلت نفس النظرية بتأييد كبير في نصف الكرة الجنوبي. ويرجع الفضل في ذلك إلى أبحاث دو تويت (Du Toit) من جنوب أفريقيا حيث سجل أدلة كثيرة على صحة النظرية في كتابه "قارتنا المهاجرة". هذا وقد ظل موقف معارضي النظرية من علماء الشمال

قائماً إلـــى أنْ قَــدَّم البريطـــاني آرثـــر هولمـــز (Arther Holmes) عـــام ١٩٢٨ تفســيراً لحركة الأرض نتيجة لحدوث تيارات الحمل فـــي بـــاطن الأرض المنصـــهر.

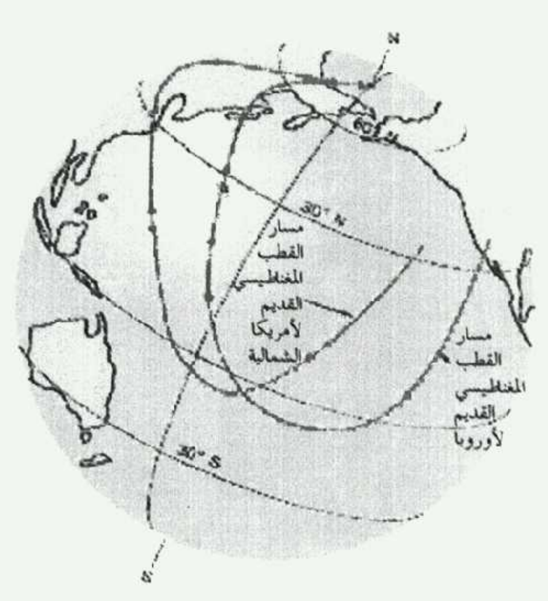
٤– تشابه حواف القارات : لوحظ أن التشـــابه الجغرافـــي لا يوجـــد فقـــط بيـــن ســـواحل القارات. ولكن أيضاً بين حواف القشـــرة الجرانيتيـــة القاريـــة والتـــي تبعـــد لمســـافة ٩٠٠ متراً عن خط الشاطئ الحالي، والتي تمثل أجزاء من القارة الغارقـــة تحـــت المـــاء.

٥– الـــهجرة الظاهريـــة للقطـــب (Apparent Polar Wandering) : تتجـــه خطـــوط القوى المغناطيسية في المجال المغناطيسي لـــلأرض مـــن القطـــب الجنوبـــي إلـــى القطـــب الشمالي، وتقع الأقطـــاب المغناطيســـية بـــالقرب مـــن الأقطـــاب الجغرافيـــة ولا ينطبقـــان. ومن المعروف أن الصخـــور تحفـــظ بصمتـــها المغناطيســـية التـــي تكونـــت عنـــد تـــبريد الصهير في حالة الصخور النارية أو لحظـــة ترســـيب مكونـــات الصخـــر الرســـوبي فـــي حالـــة الصخـــور الرســـوبية، وتعـــــرف هـــــذه الظـــاهرة بالمغناطيســـية القديمـــة (Paleomagnetism). ومن دراسة المغناطيســـية القديمـــة ثبـــت أن أقطـــاب الأرض شـــغلت مواقع كثيرة مختلفة عبر الزمن الأرضـــي. بـــل أنـــها تحتـــل مواقـــع عـــدة فـــي الزمـــن الواحد.

ومنحنى القطب المهاجر ظاهريـــاً يـــأخذ طريقـــاً متعرجـــاً ويعـــرف بمنحنـــى هجـــرة القطب الظاهرية ويتكون المنحنى من عُقَل عديدة ملســـاء تقريبـــاً يفصلـــها إلتـــواءات. ففـــي أمريكا الشمالية وعبر الفترة الزمنيـــة المحصـــورة بيـــن ٢٠٠ و٦٠٠ مليونـــاً مضـــت مـــن السنين تحركت القارة في مسار متواتر، ثم فجأة إنعكس إتجـــاه حركـــة القـــارة. هـــذا وقـــد أطلق على الأجزاء الملساء من المنحنـــى بالمســـارات (Tracks) والثَّنْيـــات ســـميت بـــالعنق أو "**مشبك الشعر**" (Hair Pins). وقـــد أســـتخدم المنحنـــى فـــي تقســـيم صخـــور مـــا قبـــل الكمبري إلى خمسة فترات كبيرة أو خمســـة مســـارات.

وقد أشارت ظاهرة القطـــب المـــهاجر ظاهريـــاً حـــيرة شـــديدة، لأنـــه توجـــد أســـباب منطقية تشـــير إلـــى أن الأقطـــاب المغناطيســـية يجـــب أن تكـــون قريبـــة مـــن الأقطـــاب الجغرافية، وأن تحـــرك محـــور دوران الأرض بـــهذا المعـــدل غـــير وارد مـــن الناحيـــة الفلكية، علاوة على أن منحنـــى القطـــب المهـــــــاجر ظاهريـــاً للصخـــور المتكونـــة في الزمن الواحد لا تتشـــــابه فـــي القـــــــــارات المختلفـــة.

وإذا ما سلمنا أن الأقطاب المغناطيسية بقيت قريبة من الأقطاب الجغرافية، فمعنى ذلك أن القارات نفسها هي التي تحركت عن مواضعها ويعد هذا دليلاً قوياً يؤيد نظرية الزحف القاري (شكل ٣٢).

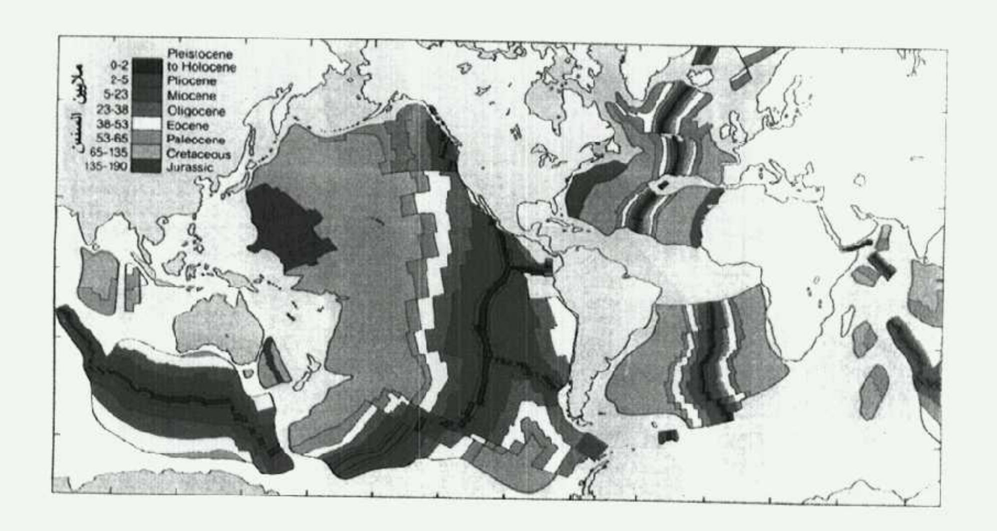


شكل (٣٢) منحنيات القطب المهاجر ظاهرياً باستخدام قياسات المغناطيسية القديمة لصخور أوروبا (١) وأمريكا الشمالية (٢).

(From A. Cox and R. R. Doell, 1960, Geological Society of American Bulletin).

٦- شاهد من إتساع المحيطات (Sea Floor Spreading) : لقد أظهرت الدراسات المغناطيسية القديمة أن قاع البحر يتكون من أشرطة متبادلة من القطبية العادية (Normal Polarity) والقطبية المنعكسة (Reversal Polarity)، ويحدث ذلك لأن الأقطاب المغناطيسية تنعكس عبر الزمن حيث يصبح القطب الموجب سالباً والسالب موجباً، وتختلف الآراء في تفسير أسباب هذا الإنعكاس. ووجود الأشرطة السابقة قد دل على إتساع قاع المحيط (Sea Floor Spreading)، حيث تُرَتِّب الصخور موازية لحيِّد أو حافة وسط المحيط (Mid-Oceanic Ridge).

وتكون أعمار الشرائط المغناطيسية حديثة بالقرب من حيْد أو حافة وسط المحيط وتتدرج في الزيادة في العمر بعيداً عنه، بل وجد أن الشرائط على جانبي الحيْد تكون ذات تركيب معدني وكيميائي وعمر واحد. وهذا أيضاً يعد دليلاً على إتساع قاع البحر (شكل ٣٣). وتجدر الإشارة إلى أن أقدم أعمار الصخور في قاع المحيط لا تزيد أعمارها عن ٢٠٠ مليون سنة أي عن العصر الجوري.

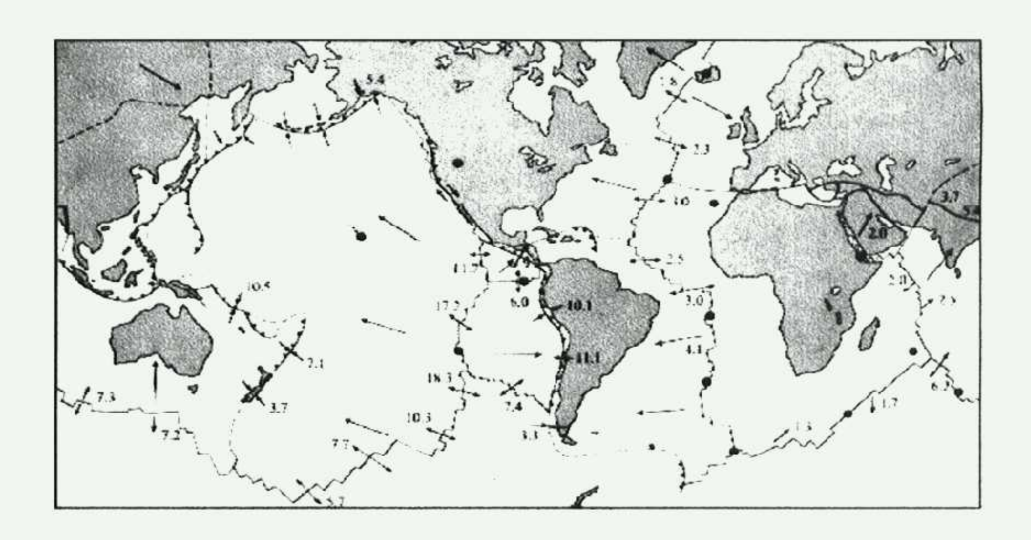


شكل (٣٣) إتساع قاع المحيط. تشير الأشرطة المتبادلة على جانبي حيّد أو حافة وسط المحيط والتي تحمل مغناطيسية منعكسة وأخرى عادية بالإضافة إلى تزايد أعمار الصخور بعيداً عن الحَيْد إلى صحة نظرية الألواح الأرضية.
(After Plumer/McGeary, Page 429, Fig. 19.19. 1996 by W C B Wm. C. Brown Publishers).

نظرية ألواح الغلاف الصخري للأرض (Plate Tectonics Theory) :

تمثل نظرية الألواح الحركية نموذجاً لحركة الغلاف الصخري فوق نطاق المَوْر أو الغلاف الطيع (Asthenosphere) اللدنة الساخنة. ووفقاً لهذه النظرية فإن الأرض تُقسم إلى عدة قِطَع كبيرة وأخرى صغيرة (شكل ٣٤) وهذه القِطَع تمر فوق طبقة المَوْر بسرعة تقدر حالياً بما بين ١ – ١٨ سم كل عام ، ويتراوح معدل الحركة ما بين ١ – ٦ سم كل عام. وتتميز أطراف هذه القِطَع بالنشاط الحركي (شكل

٣٥) ، وتقسم إلى ألواح تقاربية الحواف (Convergent Plate Boundaries)، حيث تتحرك الألواح مقتربة بعضها من بعض وإلى ألواحٍ تباعدية الحواف (Divergent Plate Boundaries)، حيث تتحرك الألواح مبتعدة بعضها عن بعض، وأخيراً هناك الألواح المنزلقة الحواف (Transform Plate Boundaries) حيث تنساب الألواح أفقياً وجانبياً.



شكل (٣٤) خريطة العالم موضحاً عليها ألواح الغلاف الصخري الكبرى واتجاه حركاتها ومعدلاتها السنوية، وتحدد الخطوط التي تحمل المثلثات الصغيرة نطاقات الغوص، بينما تمثل الدوائر المصمتة البقع النشطة حالياً.

(From Petersen and Rigby, 1990, P. 74, Fig. 8-2).

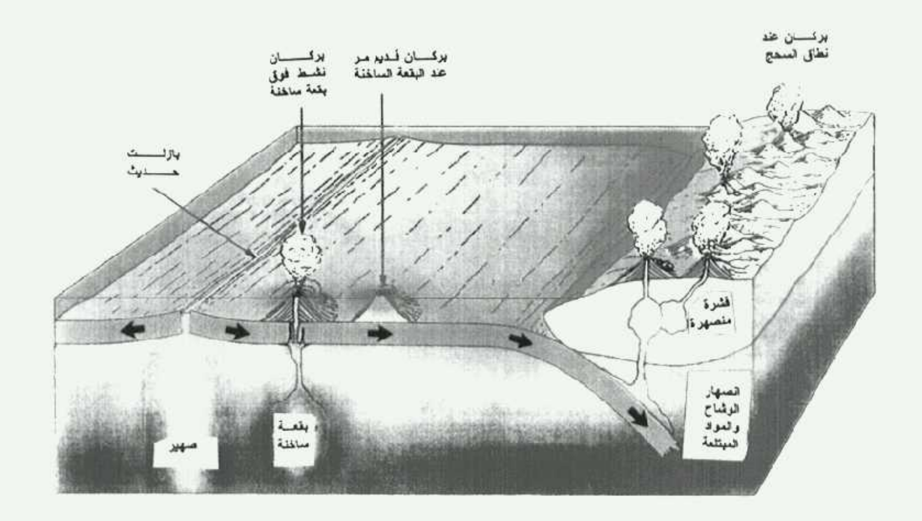
ويمكن تلخيص طبيعة اللوح الحركي في أنه نشط عند أطرافه وأنه يمثل قطعة من الغلاف الصخري تشمل أعلى جزء من الوشاح (Upper Mantle) بالإضافة إلى القشرة (Crust). والمعلوم أن اللوح المحيطي (Oceanic Plate) يكون أقل سمكاً من مثيله القاري(Continental Plate)

وكلاهمـا يتكونـان مـن صخـر صلـب (Rigid) أو قريـب مـن حالـة القسـاوة. واللوح يطفو متحركاً فـوق نطـاق المَـوْر اللـدن السـاخن.

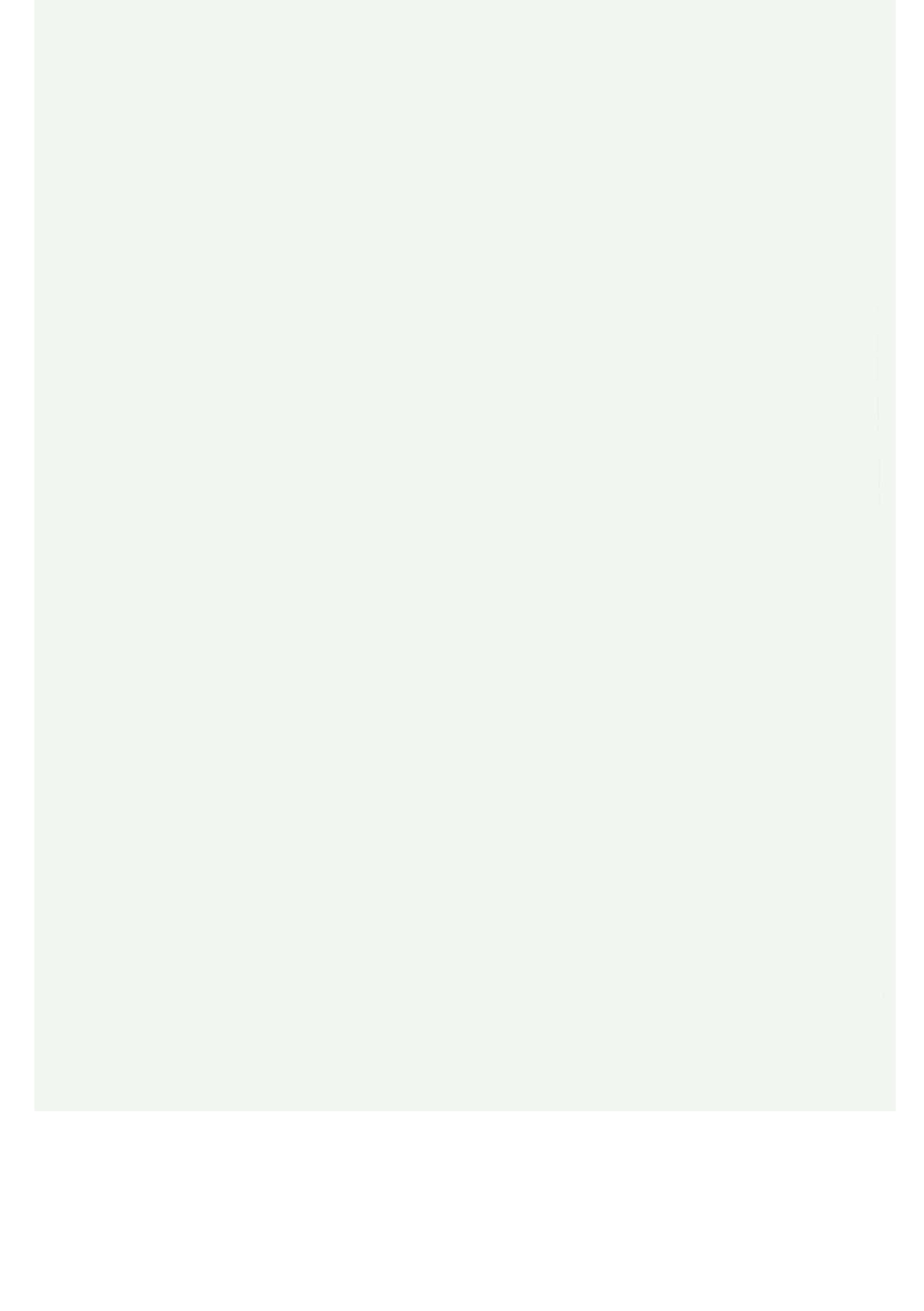
وتلعب حركة وطبيعة الألواح الحركية دوراً هاماً في فهم الجغرافية القديمـة والحركـات التَجَبُلِّية وغيرها من الأحداث الأرضية عبر الزمن الأرضى ، وفيما يلي (جدول ٧) يلخـص طبيعة الألواح البنائية وأمثلة من الظواهر الناتجة عنها.

جدول (٧) أطراف الألواح الحركية وأمثلة ناتجة عن نشاطها الحركي.

طبيعة حواف الألواح	الخواص	قارية-قارية	محيطية -محيطية	قارية-محيطية
تقاربية (Convergent)	ضغط نقص الأطراف جبال وأغوار وأقواس جزر صدوع منعكسة ودسر ثنيات زلازل ضحلة وعميقة نشاط ناري جوفي وبركاني	جبال الهيمالايا حركة أكادي	ألوتيانز الغربية	جبال الأنديز جبال عُمان الشمالية حركة تاكوني
متباعدة (Divergent)	شد زيادة الأطراف (تولد اللوح) صدوع عادية زلازل ضحلة نشاط بركاني بازلتي	خسف شرق فريقيا والبحر الأحمر	حيْد وسط المحيط الأطلسي	إتساع مؤخرة القوس (Backward Spreading)
إنزلاقية (Transform)	حركة جانبية صدوع مضربية إنزلاقية أو صدوع متحركة أفقيا زلازل ضحلة	صدع سان اندرياس	مجموعة مرتفع(Rise) شرق المحيط الهادي	



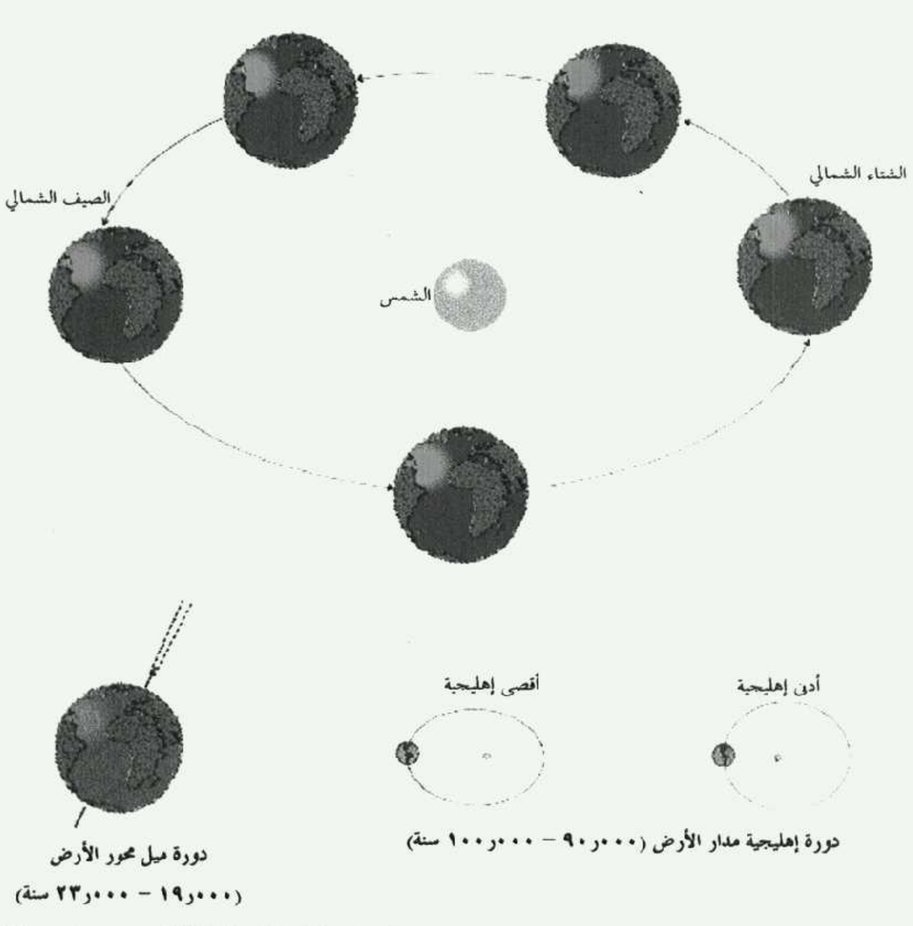
شكل (٣٥) نموذج يوضح حركة الألواح البنائية يظهر فيه مركز الإتساع عند حَيْد أو حافة وسط المحيط وكذلك نطاق الغوص عند تصادم القشرة القارية والقشرة المحيطية. كما يظهر عدم قرار الجبال البركانية في مكانها عبر الزمن.
(Modified from Montgomery, 1993, page 59, Fig. 4.11; Wm. C. Brown Publishers).



الفصل السادس

الدورة الأرضية
والسُنَن المتداولة

- الوتيرة الواحدة
- الوتيرة الواحدة والواقعية
- الدورة الأرضية
- الدورة المائية
- الدورات الطباقية
- دورات تقدم وتراجع البحر
- دورات العصر الجليدي
- دورات هلاك الكائنات.



(From Lemon, 1993, P. 151, Fig. 9.1).

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿ سَنُرِيهِمْ ءَايَٰتِنَا فِي ٱلْآفَاقِ وَفِيٓ أَنفُسِهِمْ حَتَّىٰ يَتَبَيَّنَ لَهُمْ أَنَّهُ ٱلْحَقُّ أَوَلَمْ يَكْفِ بِرَبِّكَ أَنَّهُۥ عَلَىٰ كُلِّ شَيْءٍ شَهِيدٌ ﴿٥٣﴾ ﴾

سورة فصلت – الآية رقم (٥٣)

الدورات الأرضية والسُنَن المتداولة

الوتيرة الواحدة (Uniformitarianism) :

ينطبق على القول الشهير "**الحاضر مفتاح الماضي**" أو مبدأ الوتيرة الواحدة المقولة التي نعرفها جميعاً أنها كلمة حق أريد بها باطل ، ففي البداية ساد إعتقاد في القرن الثامن عشر يرى أصحابه أن تاريخ الأرض ما هو إلا عبارة عن مجموعة متعاقبة من الكوارث والخلق (A Series of Catastrophes and Successive Creations)، ثم سادت بعد ذلك فكرة عُرفت بالوتيرة الواحدة (Uniformitarianism) ، واعتبرت مبدأً أساسياً في علوم الأرض. وقد قام هبرت (١٩٧٦م) بتلخيص أُسس التوحد (Uniformity) في نقاط أربعة إستمدها من آراء هاتون ولَيلْ والفلسفات القديمة وهي:

١- الحاضر مفتاح الماضي.

٢- يمكن تفسير التغيرات القديمة لسطح الأرض في ضوء الأسباب الفاعلة على الأرض اليوم.

٣- يمكن فهم تاريخ الأرض في ضوء المشاهدات الحالية حيث أن القوانين الفيزيائية والكيميائية تتسم بالثبات ولاتتغير بتغير الزمن.

٤- تميزت الأحداث الجيولوجية القديمة بمعدل متماثل (Uniform Rate).

والمبدأ إذن يعني ببساطة ، أن **الحاضر مفتاح الماضي (The Present Is the Key to the Past)**. إن مجرد التصور بأن العمليات الفاعلة على سطح الأرض في أيامنا هذه هي نفسها التي سادت عليها منذ القدم لايعني بالطبع أن العمليات الحالية هي صورة معادة تماماً أو مكررة لعمليات الماضي.

الوتيرة الواحدة والواقعية (Uniformitarianism and Actualism) :

خرجت فلسفة الواقعية من عباءة الوتيرة الواحدة ، ولكنها وضعت ثبات القوانين الطبيعية في إعتبارها ، علاوة على النتائج المترتبة على العمليات الأرضية. فليس من الصحيح تصور ثبات معدلات تلك العمليات الجيولوجية في الماضي والحاضر من التعرية والتجوية والترسيب والنشاط البركاني والتشوه البنائي وغير ذلك.

هذا بالإضافة أنه لايمكن إنكار أن الكوارث جزء من تاريخ العالم ، فلايمكن لعاقل ألايتصور تأثير الأحداث العارضة من زلازل وعواصف وفيضانات في تغيير معالم بعض الأماكن التي تحدث بها. فإذا كان مبدأ الواقعية (Actualism) بديلاً عن مبدأ الوتيرة الواحدة الموغلة في العلمانية ، حيث يرى أن العمليات الجيولوجية الماضية واللاحقة تخضع قهراً لنفس القوانين مع اختلاف معدلات فاعلياتها فأهلاً بذلك ، ولكن أليس من الحكمة أن نسمي الأشياء بمسمياتها الصحيحة! فنضع كل المسميات تحت الناموس الكبير وهو سُنَن الله في الكون بلا مواربة ودون مماحكة فيما يعرف بالواقعية (Actualism) والطبيعية (Naturalism) أو المادية (Materialism) أو غيرها من الأفكار التي لاتستند على مقومات حقيقية سوى ظن لايغني من الحق شيئاً. فالأسباب وراءها مسبب ولاتنفعل بذاتها ولكن بأمر من خالقها قيوم الأرض والسماوات وصدق الله مدبر الأمور إذ يقول:

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿ إِنَّ ٱللَّهَ يُمْسِكُ ٱلسَّمَٰوَٰتِ وَٱلْأَرْضَ أَن تَزُولَا ۚ وَلَئِن زَالَتَآ إِنْ أَمْسَكَهُمَا مِنْ أَحَدٍ مِّنۢ بَعْدِهِۦٓ ۚ إِنَّهُۥ كَانَ حَلِيمًا غَفُورًا ﴿٤١﴾ ﴾

سورة فاطر

إذن فقد تغير المفهوم للعمليات الأرضية من تصور أنها تسير على وتيرة واحدة بإستمرار (Uniformily Continuous) إلى أنها تسلك سلوكاً دورياً ، ولذا فقد أُدخل مصطلح جديد ليعبر عن ذلك عرف باسم دورية الوتيرة الواحدة (Cyclical Uniformitarianism) ، ومن هذا المنطلق أصبحت العوارض أجزاء من دورات تحدث نتيجة سُنَن أصيلة ، وهناك دورات كونية (Extraterrestrial) تمارس فعلها خارج نطاق الأرض وينعكس تأثيرها على الدورات الأرضية (Terrestrial Cycles). وتعددت الدورات لتشمل دورة الصخر ودورة الماء ودورة العصور الجليدية ودورة الجبال والتعرية ودورة تكوين القارة العملاقة ودورة هلاك الكائنات إلخ ... وسوف نعالج في هذا الباب موضوع الدورة الأرضية.

[١] – الدورة الأرضية (Geologic Cycles) :

تمثل الدورات الأرضية نموذجاً للكيفية التي تعمل بها الأرض ، وهي تشـــمل (شـــكل ٣٦) : محصلة إلتقاء ثلاثة دورات رئيسية هن (شكل ٣٦):

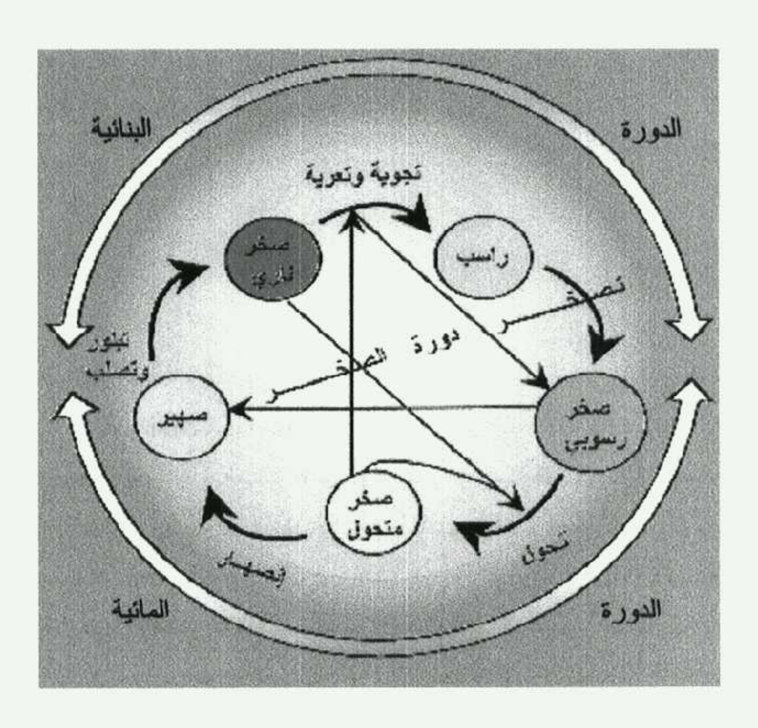
أ- دورة الصخـــــر (Rock Cycle).

ب- الدورة المائية (Hydrologic Cycle).

جـ- الدورات الحركية (Tectonic Cycle).

وينتج عن التفاعل بين هذه الدورات الغلاف الصخري والغـــلاف الجـــوي والغـــلاف المائي. ويبحث علم الأرض التأريخي عن كيف ومتى تكونت هذه الأغلفة وتدرس التغـــيرات التي حدثت في أثناء تطور الأغلفة الثلاث.

١ – دورة الصخر: تشمل دورة الصخر العلاقة بيـــن أنـــواع الصخـــور الثلاثـــة ، الناريـــة ، الرسوبية والمتحولة. وتعكس هذه الدورة عدم ثبات الصخور على حالها وتحولـــها المســـتمر خلال الزمن الجيولوجي. وقد أضافت نظرية الألواح الحركية بُعداً جديـــداً لفـــهم آليـــة دورة الصخر بصفة خاصة والدورات الأرضية بصفة عامة.



شكل (٣٦) رسم توضيحي للـــدورات الأرضية وما تشتمل عليه مـــن دورة الصخر والـــدورة المائيـــة والـــدورة الحركية.

٢ – **الدورة المائية:** تمثل الدورة المائية واحدة من أعجب الدورات الأرضية خاصة إذا علمنا أن كمية الماء التي تسقط على الأرض كل عام ثابتة وليس عاماً بأمطر من عام كما ورد في السنة الصحيحة.

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿ وَأَنزَلْنَا مِنَ السَّمَاءِ مَاءً بِقَدَرٍ فَأَسْكَنَّاهُ فِي الْأَرْضِ وَإِنَّا عَلَىٰ ذَهَابٍ بِهِ لَقَادِرُونَ ﴿١٨﴾ ﴾

سورة المؤمنون

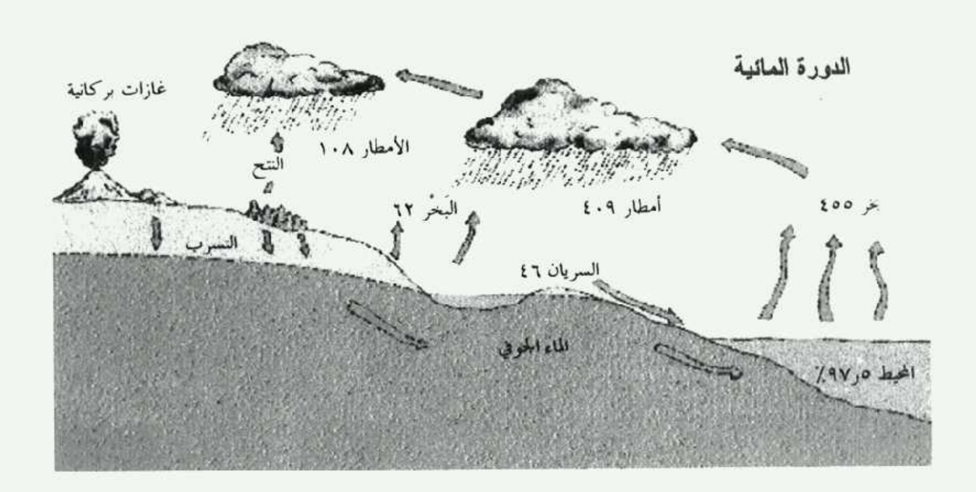
والشيء الذي يختلف هو توزيع الأمطار من مكان إلى آخر.

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿ وَلَقَدْ صَرَّفْنَاهُ بَيْنَهُمْ لِيَذَّكَّرُوا فَأَبَىٰ أَكْثَرُ النَّاسِ إِلَّا كُفُورًا ﴿٥٠﴾ ﴾

سورة الفرقان

والشيء العجيب أن كمية الماء التي تُفقَد بالبَخر من المحيط تفوق كمية المطر النازل من السماء إلى المحيط بحوالي ٤٦٠٠٠ كيلومتراً مكعباً من الماء ويتم تعويضها بنفس المقدار من الماء الجاري على اليابسة والذي يصب في المحيطات (شكل ٣٧).



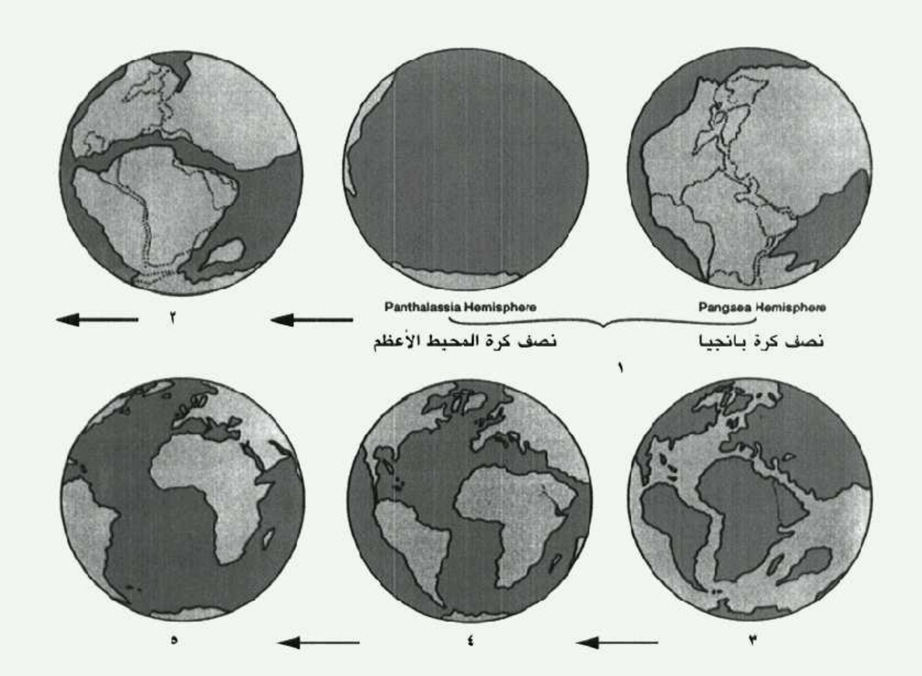
شكل (٣٧) الدورة المائية حيث يدور الماء مابين السماء والأرض. وتعبر الأرقام عن كمية البَخْر والمطر بآلاف الكيلومترات المكعبة من الماء سنوياً، تشير النسبة المئوية إلى توزيع نسب الماء في الأجزاء المختلفة من الأرض.

(Modified from Plumer/McGeary, 1996, page 196, Fig. 10.1 and The numbers are taken from Thompson *et al.*, 1995, page 5 Fig. 1.4).

[٣] –دورات القارة العظمى (Supercontinental Cycles or the Wilson Cycle) :

يُعد الجيوفيزيائي ت. توزو ويلسون من جامعة تورنتو من أوائل الذين نظـــروا إلـــى ماوراء الألواح الحركية حيث توقع دورية حركة الكتل القارية على سطح القشرة. فالقارة التـــي تقع فوق مركز إتساع جديد (New Formed Spreading Center) تبتعد ويتكون محيط عظيـــم جديد بين القطع. وحينما يتسع المحيط أكثر فـــأكثر بنفـــس القـــدر يســـتبدل نطـــاق الغـــوص (Subduction Zone) المركز المتسع بين القارات ثم تبدأ القارات في التحـــرك نحـــو بعضـــها البعض لتصطدم معاً (شكل ٣٨).

ولتفسير دورة القارة العظمى إقترح ورسلي ونانسي ومـــودوي (Worsley Nancy and Moody) نموذجاً يستغرق عمله حوالي ٤٤٠ مليون سنة حيث يحدث خَسْف في قارة بانجيا نتيجـــة التقبب الحراري (Thermal Doming) ويظهر مركز إتساع (Spreading Center) يؤدي بدوره إلى بزوغ محيط جديد ثم تتجمع القارة بعد ذلك مرة أخرى مكونة بانجيا جديدة وهلم جرا.



شكل (٣٨) نموذج ورسلي ونانسي ومودي لتفســير الدورة الحركية حيث يؤدي عدم التوزيع المتجـــانس للمحيط واليابسة إلى الإنفراج الحراري فيؤدي التقبب الحراري إلى خسف في قارة البانجيا فتنشـــأ مراكـــز إتساع يبزغ منها محيط عظيم جديد.

(From Lemon, 1993, P. 154, Fig. 9.3).

وحديثاً إقترح الْكَنَدي بول هوفمان (Paul Hoffman) أنّ قارات العالم قد تجمعـــت ثلاثـــة مرات في قارة عملاقة مثل قارة بانجيا (Pangaea) وذلك في أثناء الزمـــن الأرضـــي. وقـــدر هوفمان أن زمن الدورة يتراوح مابين ٣٠٠ مليون و ٥٥٠ مليون سنة يتم فيه تجميع القـــارات في قارة واحدة تأخذ شكل كتلة كبيرة من اليابسة ثم تقطع هذه القارة إلى أجزاء ثم يبدأ إلتحـــام القارات مرة أخرى. ويُفترض أنه قبل ٢٠٠٠ مليون سنة كانت الأرض تتكون مـــن سلاســـل جزر وقارات صغيرة مشتتة يفصل بينها أحواض محيطية ، وفي خلال مـــائتي مليـــون ســـنة أخذت هذه القارات تتجمع ومنذ ١٨٠٠ مليون سنة نشأت قـــارة وحيـــدة سُـــميت بانجيـــا–١ (Pangaea I) ، ثم تضافرت عدة عوامل لتقطيع هذه القارة تحت تأثير ثقل الغلاف الصخـــري ونشاط الْبُقَع الساخنة في وشاح الأرض. ولربما تأججت المنـــاطق النشـــطة هـــذه Mantle) (Plumes من جراء إرتطام الْمُذَنَّبات الكبيرة بسطح الأرض آنذاك. وعموماً تحطمت بانجيـــا–١ (Pangaea I) منذ ١٣٠٠ مليون سنة ليعاد تجميع أجزائها مرة ثانية منذ ١٠٠٠ مليون سنة فـــي قارة بانجيا–٢ (Pangaea-II) حيث تقطع ثانية ويعاد تجميع الْقِطَع مرة ثالثة في قارة بانجيـــا–٣ (Pangaea III) منذ ٢٥٠ مليون سنة.

[٣] – الدورات الطباقية (Stratigraphic Cycles):

أمكن التعرف على خمس دورات طباقية وذلك على أساس فترات إستمرارها وأســـبابها المتوقعة (جدول ٨) وتلك الدورات هي:

أ– **دورات الرتبة الأولى (First-Order Cycles)** : يضـــم سِـــجل زمـــان الحيـــاة الظـــاهرة (Phanerozoic Eon) دورتين ، يتراوح زمن الدورة مـــابين ٢٠٠–٤٠٠ مليـــون ســـنة ، وتعكس الدورة تغيرات ثابتة في مستوى سطح البحر ، نتجت من تكوين وتقطيع القـــارات العملاقة (Supercontinents) ، مثل ما حدث في دورة تجمع قارات العالم القديم في قـــارة "بانجيا" (Pangaea) ، ودورة تقطيع هذه القارة العملاقة . حيث أدى تجمع القـــارات إلـــى إنخفاض مستوى سطح البحر عالمياً نتيجة لتقلص حجم المحيـــط ، بينمـــا يـــؤدي تبـــاعد القارات إلى اتساع قاع المحيط ، وبالتالي إلى ارتفاع مستوى سطح البحر عالمياً.

ب– **دورات الرتبة الثانية (Second-Order Cycles)** : تستمر دورة الرتبة الثانية مـــابين ١٠ إلى ١٠٠ مليون سنة وتعكس التغيرات في حجم الأحْيُد المحيطية نتيجة لإختلاف معـــدلات حركة قِطَع الأرض المتجاورة.

جـ- **دورات الرتبة الثالثة (Third-Order Cycles)** : يتراوح فترة دوام من ١-١٠ مليون سنة ولكن الدورة تقل في العادة عن ٣ مليون سنة. وتعكس هذه الدورات تغيرات في أخْيُد وسط المحيط وتغيرات تجَمُع وذوبان الأغطية الجليدية.

د- **دورات الرتبة الرابعة والخامسة (Fourth- and Fifth-Order Cycles)** : تستمر دورات الرتبة الرابعة من ٢٠٠,٠٠٠ إلى ٥٠٠,٠٠٠ سنة أي تقل عن نصف مليون سنة بينما تستمر دورات الرتبة الخامسة من ١٠,٠٠٠ - ٢٠٠,٠٠٠ سنة. وتعكس هذه الدورات تغيرات مناخية دورية تنتج من التغيرات في مدار الأرض. وتسمى الدورات المدارية هذه دورات ميلانكوفتش (Milankovich Cycles).

جدول (٨) الدورات الطباقية وأسبابها المفترضة

رتبة الدورة	مرادفات	الدوام (مليون سنة)	السبب المحتمل
الأولى		٢٠٠-٤٠٠	دورات كبيرة تنجم من التجمع والتشتت القاري.
الثانية	فوق دورة (Super Cycle)	١٠-١٠٠	دورات تنتج من تغير أحجام مراكز الإتساع عند الأخْيُد المحيطية
الثالثة	دورة متوسطة (Mesothem)	١-١٠	تغيرات الأخْيُد (الحواف الوسطية في المحيط) ونمو وذوبان الجليد.
الرابعة	دورة متكررة (Cyclothem)	٠,٢-٠,٥	دورات ملانكوفتش الجليدية المترتبطة بمستوى سطح البحر بتأثير قوى كونية.
الخامسة	دورة صغيرة (Minor Cycle)	٠,٠١-٠,٢	الدورات المدارية.

[٤] - دورات تقدم وتراجع البحر (Transgression and Regression Cycles) :

لايَقَرُّ مستوى سطح البحر على حال واحد ، فهو يتذبذب بين الصعود والهبوط عبر الزمن الأرضي ويوصف البحر بأنه متقدم (Transgressive Sea) حينما يرتفع مستواه ويطغى على اليابسة ، بينما يكون البحر متراجعاً (Regressive Sea) في حالة إنخفاض مستواه وإنحساره عن اليابسة. ويمكن معرفة تقدم أو تراجع البحر من التتابعات الرسوبية التي تتكون من دورات رسوبية (Sedimentary Cycle).

ويعكس النموذج المثالي البسيط تتابعاً رسوبياً مكوناً بإتجاه البحر من الحجـر الرملـي والطّفلة والحجر الجيري بعد تماسك وتحجر رواسب الرمل والوحل والجير ، حيـث يترسـب الرمل (Sands) على الشاطيء وبالقرب من خط الساحل ، وهذا الرمل ينتقل عادة مـن الأرض قبل ترسبه. وبعيداً عن الشاطيء في المياه الهادئة العميقة يترسب الغرين والطين الآتيان مـن الأرض. وإذا ما كان رصيف البحر (Shelf) متسعاً نوعاً ما ومغطى بالمياه الدافئـة تتكـون رواسب الكربونات سواءً بطريقة كيميائية أو عضوية.

وحينما يتقدم البحر على اليابسة سواءً لإرتفاع مستواه أو لهبوط اليابسة فـإن بيئـات الترسيب الثلاثة السابقة تهاجر بإتجاه الشاطيء (شكل ٣٩–أ) وتعلو السحنات بعضـها فـوق بعض ، فنجد طبقة الحجر الرملي مغطاة بطبقة الطفلة وبالتالي يعلو الحجر الجيري صخـور الطفلة مباشرة. وتسمى المجموعة السابقة تتابع التقـدم البحـري (Onlap) ، وفيـها تغطـى الرواسب الدقيقة الرواسب الخشنة.

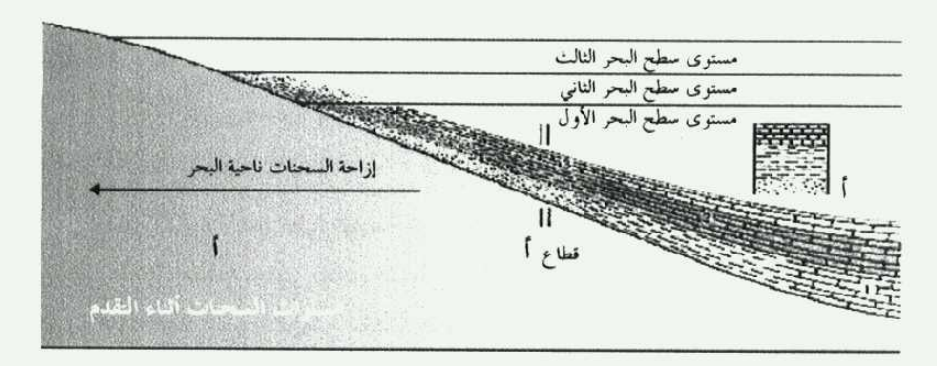
وفي اثناء تراجع البحر ترتب مجموعة الصخور المتكونة في تتابع رأسي بحيث يعلـو الحجر الرملي الطَّفْلة التي بدورها تعلو الحجر الجيري ، أي أن الرواسـب الخشـنة تغطـي الرواسب الناعمة. ويسمى تتابع الصخور حينئذٍ تتابع التراجع البحري (Offlap) (شـكل ٣٩–ب). وتتكون الدورة الرسوبية في حالتها المثالية من هذين التتابعين.

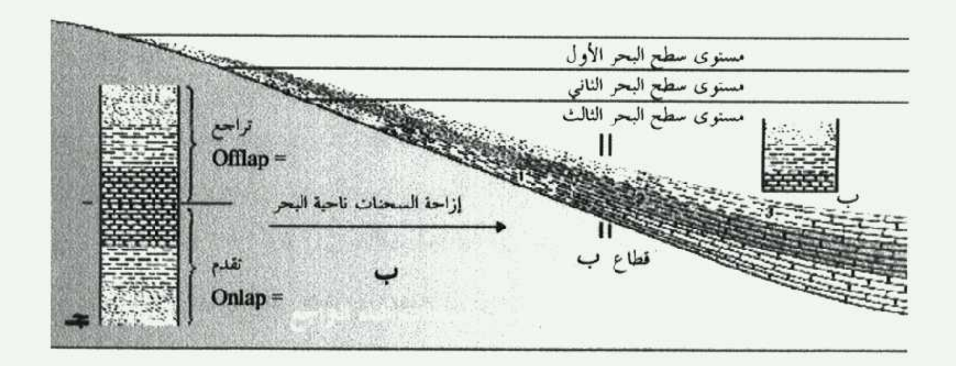
وفيما يلي نذكر أسباب تغير مستوى سطح البحر:

١ – ملء أحواض المحيط بالرواسـب.
٢ – تغيرات حجم الأحْيَد المحيطية (أو الحواف الوسطية المحيطية) نتيجة لاتساع قيعان المحيطات.
٣ – جفاف الأحواض المحيطية الصغـيرة.
٤ – نمو وذوبان الغطـاء الجلـيدي.
٥ – تغيرات في حجم الغـلاف المـائي.
٦ – تغيرات درجة حـرارة المحـيط.
٧ – تغيرات في محتوى بخار الماء في الغلاف الهوائي.
٨ – الحركـات الأرضية الرأسـية.

هذا وقد شهد زمان الحياة الظاهرة ارتفاعاً في مستوى سطح البحر فيما بين الكمـبري والمسيسيبي ثم تبعه انخفاضٌ في مستوى سطح البحر في الفترة من البنسلفاني حتى الجـوري أعقبه إرتفاعٌ في الطباشيري. ولعل هذه التغيرات ترجع إلى نموذج البانجيا حيث يؤدي التوحـد القاري إلى إنخفاض مستوى سطح البحر بينما يؤدي تكسير القارات العملاقـة إلـى ارتفـاع مستوى سطح البحر.

وقد أثر نمو الغطاء الجليدي وتحلله إلى ارتفاع مستوى سطح البحر حوالي ٥٠ متراً وانخفاضه إلى حوالي ١٠٠ متر في زمن البليستوسين.





شكل (٣٩) يؤدي تقدم وتراجع البحر إلى تكوين تتابعات من الصخور الرسوبية. في أثناء تقدم البحر (أ) تتراح السحنات بإتجاه الأرض ويتكون تتابع التقدم من حجر رملي وطَفْلة وحجر جيري مرتبة من أسفل إلى أعلى وفي أثناء تراجع البحر (ب) تتراح السحنات بإتجاه البحر ويتكون تتابع التراجع من الصخور السابقة وقد إنعكس ترتيبها.

(From Cooper *et al.*, page 56, Fugs. 2-16 & 2-17; 1990 by Merrill Publishing Company).

منحنى فيلْ The Vail Curve : إستطاع فيل أنْ يرسم منحناً عالمياً لمستوى سطح البحر (شكل ٤٠) يعكس دورات ثلاث تتطابق تطابقاً تاماً مع الدورات الثلاث السابقة وهي:

١- دورات الرتبة الأولى (First-Order Cycles) : وهي تعكس تغيرات طويلة الأجل (Long-Term Changes) ، حيث يستمر تقدم وتراجع البحار الواسعة الانتشار لعدة ملايين من السنين (٢٠٠-٤٠٠ مليون سنة) وتنشأ عنها رواسب تكونت في

أثناء تقـدم البحـر يحيطها عـدم توافـق إقليمي يشير إلى طُغيان البحـر علـى المناطق المستقرة مثل رواسب الرصيف العربي المحيطة بالحواف الشرقية للدرع العربي.

شكل (٤٠) منحنى فيلْ الأصلي الذي تم نشره عام ١٩٧٧م.

(From Roy E. Lemon, page 157, Fig. 9.5, 1998, by Wm. C. Brown Publishers).

٢- دورات الرتبة الثانية (Second-Order Cycle) : وتحدث نتيجة تذبذب في حجم الغطاء الجليدي ، حيث يؤدي ذوبان الجليد إلى ارتفاع مستوى سطح البحر بينما يؤدي تكوين ونمو الجليد إلى انخفاض مستوى سطح البحر. ويتراوح زمن الدورة من ١-١٠ مليون سنة. والمنحنى يشبه أسنان المنشار حيث يكون الإرتفاع في مستوى البحر بطيئاً نسبياً على حين يكون الإنخفاض سريعاً.

[٥] – دورات الزحف الجليدي وانحساره (Ice Age Cycles) :

شهد أبد الحياة الظاهرة ثلاثة عصـور جليديـة سـادت فـي أثنـاء الأوردوفيشـي والبرموترياسي وآخر حقب الحياة الحديثة ، هذا بالإضافة إلى العصر الجليدي الذي ساد فـي نهاية زمان طلائع الأحياء. ولربما شهد زمان الحياة الخفية أكثر من عصر جليدي واحد.

أسباب تكون العصور الجليدية : وُضِعَت عُدة نظريات وآراء لمعرفة أسباب تكون العصــــور الجليدية ، سوف نذكر الأفكار الجيدة منها ما يلي :

١- الاخـــــتلافات المــــــدارية والمــــــيل بالنســــبة للشمس (Variations in the Earth's Orbit and Inclination to the Sun) تعتمد كمية الحرارة الآتية من الشـــمس التي يستقبلها جزء من الأرض على زاوية أشعة الشمس المرسلة ، كما تعتمد بدرجة أقـــل على المسافة من الشمس ، وتتغير بصفة دورية زاوية أقطاب الأرض بالنســـبة لمدارهـــا حول الشمس. وحديثاً أمكن التوصل إلى أن الفترات الجليدية والأخرى بين الجليدية تعـزى إلى العلاقة المدارية وتأرجح محور الأرض. ووفقاً لنظرية ميلانكوفتش (Milankovitch Theory) فإن الإشعاع الشمسي الذي تستقبله الأرض يتغـــير وفقـــاً لـــدورات مقاديرهـــا ٢١,٠٠٠ ، ٤١,٠٠٠ ، ١٠٠,٠٠٠ سنة. وحينما حددت دورات الدفء والـــبرودة مـــن دراسة الرواسب البحرية ، وُجِد أنها تتوافق مع الفترات السابقة. حيث حـــددت بـــالفترات ٢٣ ، ٤٢ ، ١٠٠ ألف سنة.

٢- تغيرات الغلاف الجوي (Changes of Atmosphere) : من المحتمل أن زيادة نسبة ثـــاني أكسيد الكربون في الجو تؤدي إلى تدفئة الجو بسبب قيام هـــذا الغـــاز باصطيـــاد الطاقـــة واختزان كمية الحرارة المنطلقة من الأرض. وقد لوحظ التطابق بين زيادة محتوى ثـــاني أكسيد الكربون وفترات الدفء بين العصور الجليدية ، كما لوحظ انخفاض محتوى ثـــاني أكسيد الكربون (CO_2) في أثناء الفترات الجليدية. وللحقيقة توجـــد صعوبـــة فـــي تفســـير التغيرات الدورية في تركيز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) في الغـــلاف الجـــوي وربطـــه بالمتغيرات الحادثة في الغطاء النباتي، وربما يرجع إختلاف المناخ إلى نشـــاط الـــبراكين ومايعقبها من إنخفاض في درجة الحرارة على المستوى العالمي.

٣- تغير مواضع القارات (Changing of the Positions of Continents) : ربما أدت حركـــة الألواح البنائية إلى إزاحة بعض القارات باتجاه أقطاب الأرض فتسود العصور الجليديـــة وإنْ كان هذا لم يؤكد في جليد نهاية حقب الحياة الحديثة.

٤- تغيرات في دورة ماء المحيط (Changes in Circulation of Sea Water) : مما لاشك فيه أنّ المناخ الحالي يتأثر تأثراً كبيراً بنموذج دورة الماء في البحار. وقد أدت دورة المحيـــط الأطلسي حينما شُقَّ محوره بين كندا وجرينلاند إلى هبوب الرياح التي حملت بخار المـــاء عند سيرها فوق المحيط القطبي المتجمد ليبدأ تكوين الغطاء الجليدي. وقد أدى تكوين تلـــك الأغطية بالتالي إلى إنخفاض مستوى سطح البحر نتيجة فقد المياه المستخدمة في تكويـــن الأغطية الجليدية ، وحينئذ قام المحيط بتعميق قاعه مابين كندا وجرينلاند ولم تستطع المياه الدافئة في الأطلسي الوصول إلى المحيط القطبي ، مما أدى إلى اســـتمرار تجمـــد ســـطح

المحيط وبالتالي قَلَّ بخار الماء الذي يمد الأغطية الجليدية فتراجع تكوينـــــها. ولكـــن لـــم تستطع نظرية دورات المحيط تفسير أسباب حدوث العصور بين الجليدية.

٥- إنزلاق غطاء جليد القارة القطبية الجنوبية حيث إنزلقت بعض كتل الغطاء بيسر إلى ســطح المحيط فأدت إلى حجب كمية لابأس بها من الإشعاع الشمس مما أدى إلى بـــرودة العـــالم مفجرة الشرارة لتكوين العصور الجليدية. وللأمانة مازالت هـــذه النظريـــة تحتـــاج إلـــى إيضاح.

الملاحظة رقم (٤) :

إرتفــاع مستوى سطح البحر الحـالي

إرتفع مستوى سطح البحر ١٣٠ متراً خلال الخمسة عشر ألف سنة الماضية حينما ذابت الأغطية الجليد لعهد البليستوسين ، الأمر الذي أدى إلى إرتفاع مستوى سطح البحر بمعدل سريع بلغ ١٫٣ متراً كل عـــام ١٠٠ عام ، ولكن في خلال الثلاث آلاف سنة الأخيرة هبط المعدل إلى ٤ سم/مائة عام. إلا أنه منـــذ عـــام ١٩٣٠ إرتفع سطح البحر بمعدل يفوق ستة أضعاف المعدل الأخير حيث بلغ المعدل ٢٣ سنتيمتراً كـل ١٠٠ عام وذلك عبر سواحل الأطلسي. ويؤدي هذا الإرتفاع حتماً إلى تآكل الشواطيء. ويؤدي هذا الإرتفـاع إلى غمر المناطق الساحلية المنبسطة بمياه البحر لعدة كيلومترات داخل الأرض. وفي حالـــة الشـــواطيء المتمـــيزة بوجود الجروف البحرية يعمل إرتفاع سطح البحر على سرعة تآكلها. ويتوقع عدد من العلماء زيادة معـــدل إرتفاع سطح البحر في القرن الواحد والعشرين بتأثير زيادة نسبة ثاني أكسيد الكربون في الجو بحـــوالي ١٠% عن نسبته الحالية نتيجة التلوث الناجم بفعل عادم السيارات وغيرها من الآلات والمركبات. ومن ثم يقوم ثـاني أكسيد الكربون بتَصيُّد طاقة الشمس فترتفع درجة حرارة الجو ودرجة حرارة ماء البحر. ويعمـــل الهـــواء الدافيء على ذوبان الجليد في جرينلاند وفي القارة القطبية الجنوبية المعروفة بقارة انتاركتكـــا ، ممـــايؤدي إلى إرتفاع مستوى سطح البحر.

وتشير التنبوات إلى إرتفاع مستوى سطح البحر بحلول عام ٢١٠٠م، وإنْ إختلفت الرؤى حول معـــدل الإرتفاع. ووفقاً للتنبوات الأخيرة فمن المتوقع أن يرتفع مستوى سطح البحر مابين ٣٠-٦٠ ســنتيمتراً ، وفي حالة الوصول إلى الحد الأخير لمعدل الزيادة (٦٠ سنتيمتراً) فلسوف تتآكل آلاف مـــن المبـــاني المشـــيدة في المناطق الساحلية. وفي الحقيقة يثار الجدل حول دفء المناخ عالمياً في المستقبل ، ولكن ذوبان الغطاء الجليـــدي شيء واقع الآن.

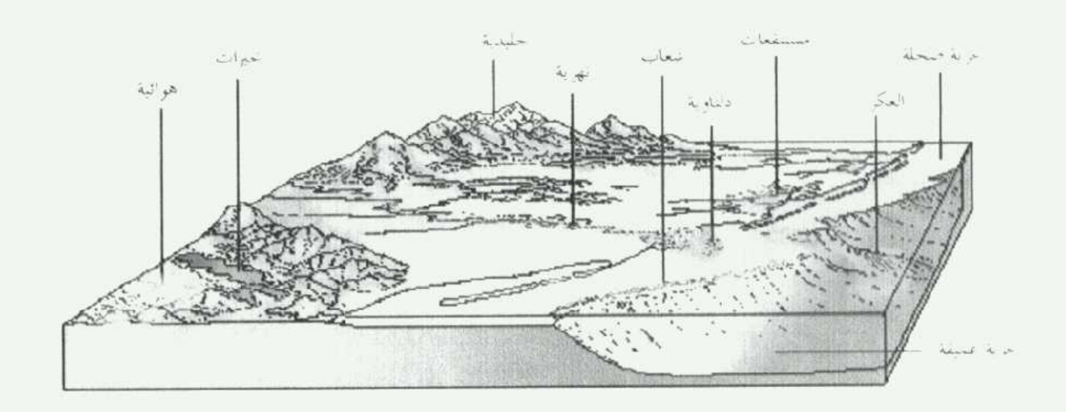
وفي وقتنا الحالي ، تؤدي الأعاصير المتولدة فوق مناطق الضغط المنخفض حول ســـواحل الأطلســـي إلى جيشان المحيط وتصل سرعة الإعصار إلى ٣٠٠ كم/الساعة في مساحة قطرها ٥٠٠ كم^{٢}. وتؤدي العواصـف إلى إرتفاع موقت في مستوى سطح البحر إلى ثمانية أمتار.

الفصل السابع

السحنات الصخرية

والتحليل السحني

• مقدمة • مفهوم السحنة • قانون والثر • التعرف على أنواع السحنات • تتابعات السحنات • نماذج السحنات والدليل السحني • التجمعات السحنية • أهداف وأنواع النموذج السحني • بيئات الترسيب.



(From Petersen and Rigby, page 8, Fig. 1- 7;1994, Wm. C. Brwon Publishers).

السِحنات الصخرية والتحليل السِحني

(Facies and Facies Interpretation)

يتناول التحليل السحني للصخور الرسوبية دراسة وتفسير الأنسجة، والبنيات، والمحتوى الأحفوري، والتركيب المعدني والصخري لتلك الصخور؛ وذلك في المكشف (Outcrop) أو السجل البئري (Well Log) وذلك في جزء صغير من الحوض الترسيبي. وفي حالة التوسع في التحليل السحني ليشمل الحوض كاملاً فإنه يلزم الإلمام بمشاكل المضاهاة الطبيعية وتطبيق مختلف تقانات التخريط الحوضي (Basin Mapping Techniques). والهدف النهائي من وراء دراسة هذا النوع هو تحليل الجغرافيا القديمة (Paleogeographic Synthesis) لذلك الحوض الرسوبي.

مفهوم السِحنة (The Facies Concept) :

تثير السِحنة جدلاً كبيراً وهي في الأصل كلمة لاتينية (Facia or Facies) تشير إلى المظهر الخارجي للصخر. ويعد السويسري أمان جرسلي (١٨٣٨م) أول من إستخدم هذا المصطلح في علوم الأرض.

ولكل نوع من الصخور سِحناته المميزة التي تعبر عن تركيبه المعدني ومحتواه الحفري. كما تعبر السحنة عن سمات الصخر العامة حيث تشمل مظهره وبُنْيتِه والبيئة التي تكون فيها والتغيرات البعدية التي تعرض لها. ومصطلح السِحنة يسع كل الصفات الصخرية للراسب وبيئته الترسيبية. وعادة ما يصف دارس علم الأرض السِحنة الرملية التي تنتقل إلى السِحنة الطينية أو السِحنات البحرية الضحلة التي تنتقل إلى سِحنات المياه العميقة.

ومن معان السِحنة أيضاً التغير الجانبي في تركيب الوحدات الصخرية الرسوبية، لأن التغيرات البيئية القديمة يمكن تسجيلها ليس فقط في التتابع الرأسي ولكن أيضاً في الإمتداد الجانبي. ومن أمثلة تغير السحنات الرسوبية جانبياً صخور نظام الديفوني في إنجلترا، فبينما توجد في شمال إنجلترا في ويلز رواسب الحجر الرملي الأحمر القديم غير البحرية النشأة (Non-Marine) فإن رواسب الحجر الجيري توجد في جنوب إنجلترا، وهي رواسب بحرية النشأة، وكلا السحنتان متكافئتان زمنياً (شكل ٤١).

ومن ثم تُعرَف السحنات الرسوبية (Sedimentary Facies) على أنها التغير الجانبي في التركيب الصخري الوحدات الحجرية الرسوبية التي تتكافأ كلياً أو جزئياً في الزمن. وأغلب

السِحنات الرسوبية تتداخل تدريجياً. وتُعرَّف السحنة أيضاً على أنها وحـــدة صخريـــة يعــزى ترسيبها إلى بيئة محددة وتحددها خواص مميزة.

شكل (٤١) التغير في السحنة الرسوبية في صخور العصر الديفوني، ففي ويلز ترسبت صخور الحجر الرملي والرواهص غير البحرية مكَّونةً سِحنة الحجر الرملي الأحمر القديم ، وجنوباً تَكَوُّن الحجر الجيري البحـــري النشأة. وتُعبِّر علاقة التداخل بين السِحنتين عن التكافؤ الجانبي.

(From Cooper *et al.*, 1990, page 39, Fig. 2-3)

وبناءً على ما تقدم فإن السحنة تشمل الصخور المتوافقـــة زمنيـــاً وإن إختلفـــت مكوناتـــها الصخرية نتيجة للإختلافات البيئية ، فمثلاً صخر الحجر الجيري يمكن أن يتكافأ زمنيـــــاً مـــع الطَّفلة المجاورة له أو المتداخلة معه جانبياً. وهذا يظهر جلياً عند النظر إلى الرصيف القـــاري الممتد أمام السواحل الحديثة حيث نرى إختلافاً واضحاً فــــي أنـــواع الرواســـب المتكونـــة ، فالحصى الخشن والرمال تتكون على الشاطئ ثم تتدرج ناحية البحر إلى الغرين والطين. وفـــي بعض الأماكن قد تفرز الكائنات كتلاً من الجير أو تكون شعاباً مرجانية مثلاً. فإذا مـــا إســـتمر ترسيب مثل هذه الأحزمة الترسيبية عبر الزمن فتتكون أجسام من الرواسب المتشابهة والتـــي يمكن اعتبارها سِحنات ترسيبية ، أو بمعنى أدق سِـــحنات حجريـــة (Lithofacies) ، تتمـــيز بصفات فيزيائية مثل اللون والتركيب الصخري والنسيج والبُنيَات الرســـوبية مقارنـــة بـــالنمط الترسيبي الذي يصاحب مجموعات حياتية محددة والتـــي يطلـــق عليـــها الســـحنات الحياتيـــة (Biofacies) والمعرفة على أسس أحفورية من بقايا الحياة فيها.

ومن المؤكد أن نمو السِحنات الحجرية والحياتية ما هو إلاتعبير عن إســـتجابة الرواســـب والكائنات للعوامل البيئية المختلفة من نسيج القاع، كمية الأكســـجين، والملوحـــة وإضطـــراب الوسط وتعكره ...... إلخ.

وتستخدم كلمة سحنة في أيامنا هذه بالمعنى الوصفي والتفسيري والكلمة نفسها (Facies) تعبر عن المفرد والجمع. والسِحنات الوصفية تشمل السحنات الحجرية (Lithofacies) والسحنات الحياتية (Biofacies). ونظراً لصعوبة الفصل الجَلّي فإن البعض يعتقد أن مصطلح السِحنة يجب أن يعبر عن كل النواحي الحجرية للصخر أو للراسب مشتملاً على العناصر الحياتية أيضاً. وتعرف السِحنة في المرشد الطباقي العالمي على أنها "تعني في الطباقية العامل أو طبيعة أو مظهر طبقات الصخر أو مكوناتها". وتظهر طبقات الصخر عدة أنواع من السِحنات منها :

السحنة الحجرية أو الصخرية (Lithofacies).

السِحنة الحياتية (Biofacies).

السِحنة المعدنية (Mineralogic Facies).

السِحنة البحرية (Marine Facies).

السِحنة البركانية (Volcanic Facies) .... إلخ.

ويستخدم غير الدارسين للطباقية (Non-statigraphers) المصطلح بمعان أخرى مثل السحنة أو السحنات المتحولة (Metamorphic Facies) ، السِحنة أو السِحنات النارية (Igneous Facies)، السِحنة أو السِحنات الحركية (Tectofacies or Tectonic Facies).

والسِحنة في مجال الطباقية بمعناها الضيق المحدد تعبر عن الآتي :

١ – مظهر الصخر.

٢ – بُنية أو طبيعة الصخر الأصلية.

٣ – الصخر ذاته وفقاً لتركيبه.

٤ – البيئة التي تكون فيها الجسم الصخري.

ويستخدم المصطلح ليعبر عن ناتج بيئة التكوين فالسِحنة الرسوبية تضم عدة أنواع حجرية تكونت في بيئات ترسيبية والسحنة المتحولة تستخدم في تخريط (Mapping) الصخور المتحولة التي تعرضت لنفس الظروف من الضغط ودرجة الحرارة ...وهكذا.

التغير الجانبي والرأسي لسِحنات الصخور الرسوبية وقانون والتر (Walther's law)

إكتشف والتر سنة ١٨٨٤م (Walther,1894) **"أن السِحنات الصخرية الرسوبية تتكون جنباً إلى جنب كما أنها أيضاً تتعاقب رأسياً"**

"Facies that formed beside one another in a lateral-relationship, also lie on top of one another"

ويعرف ذلك باسم قاعدة والتر (Walter's Rule) أو قاعدة تعاقب السِحنات (The Rule of Succession of Faceis) ووفقاً لقانون والتر فإنه يمكن التنبؤ بتوزيع السحنات الجانبية من دراستها في التتابع الرأسي وفي هذا الصدد من المهم ذكر نص القاعدة أو القانون الذي ترجم عن لغته الأصلية (Middleton, 1973, P. 979):

Walther's Law : "The Rule of Succession of Facies"

The various deposits of the same facies area and similarly, the sum of the rock of different facies areas were formed beside each other in space, but in a crustal profile we see them lying on top of each other.... it is a basic statement of far reaching significance that only those facies and facies areas can be superimposed primarly, that can be observed beside each other at the present time (Walther, 1884).

قانون والتر "قاعدة تعاقب السِحنات"

"تكونت الرواسب المتنوعة السِحنات لمنطقة ما، وكذلك مجموع صخور مناطق السِحنات المختلفة جنباً إلى جنب في المكان، ولكنا نراها في القطاع من قطاعات الغلاف الصخري للأرض ترقد كل سِحنة منها فوق السِحنة الأخرى، وهذا منطوق أساسي ذو أهمية بالغة تتمثل في أن هذه السِحنات ومناطق السِحنات التي نراها جنباً إلى جنب في الوقت الحاضر يمكن أن تتراكب (يعلو بعضها بعضاً) بطريقة أساسية".

والملاحظ أن القانون يطبق على القطاعات التي تتميز بإستمرارية الترسيب دون حدوث إنقطاع ترسيبي وبالتالي دون حدوث إنقطاع طِباقي. ويعد هذا القانون حجر الزاوية في الترسيب الدوري (Cyclic Sedimentation).

ويرجع إكتشاف هذا القانون إلى الألماني جوهان والتر (Johannes Walther) الذي عرف السحنة بأنها مجموع كل الصفات الأساسية للصخر الرسوبي.

وغالباً ما يتحكم عمق الماء وبالتالي مستوى سطح البحر في تحديد نوع السِحنة. فإذا ما سجل سطح البحر إرتفاعاً في منطقة ما فإنه سيحدث تغيرٌ من السِحنات الشاطئية الضحلة إلى سحنات البحر المفتوح ، وهذا ما أشير إليه تفصيلياً عند الحديث عن الدورات والوتيرة الواحدة المستجدة (New Uniformitarianism).

التعرف على أنواع السِحنات

يلزم للتحليل السحني الحجري (Lithofacioes Analysis) التَّعرف على مجموع الصفات التي تتكرر في القطاع الطباقي على هيئة وحدات متطبقة ذات صفات بُنْيوية وتركيبية واحدة، يمكن التعرف عليها من التدرج في حجم الحبيبات ومن سُمْك السِحنة ولونها ونسيجها، ومحتواها من بقايا الحياة. وتمثل السحنة الحياتية تجمعات محددة من الأنواع أو الأجناس في الفترة الطباقية المحددة.

تتابعات السِحنات ونماذجها والدليل السِحني

تعرف الطباقية البيئية (Environmental Stratigraphy) على أنها دراسة وإسترجاع بيئات الترسيب القديمة بإستخدام التقانات والمعلومات المختلفة المستخدمة في التحليل البيئي والمستقاة من علمي الصخور الرسوبية والبيئة القديمة. وفي هذا المجال تعد السحنات من الأشياء الهامة جداً في دراسات الصخور الرسوبية حيث يعتبر التعرف على وتفسير كل من السِحنات الحجرية والحياتية هدفان أساسيان في الطباقية الرأسية للسحنات في كل من الحقل والمعمل للمساهمة في وضع نماذج السحنات (Facies Models).

وتساعد دراسة تتابع السِحنات في الحقل رأسياً على تقسيم الصخور إلى وحدات سِحنية قائمة (Working Facies Units) تتميز كل منها بصفات حجرية مميزة، وبجانب ذلك تسجل التفاصيل المختلفة لتتابع تلك السِحنات في القطاعات المحلية العديدة المتاحة. وتعتمد دقة ودرجة التقسيم المبدئي في الحقل على عدة عوامل مثل أهداف الدراسة وطول مدة الدراسة. وفي بعض الحالات يمكن تطبيق بعض الطرق الإحصائية لتمييز السِحنات من بعضها البعض. وكثير من السِحنات المُعَّرفة في الحقل يصعب تفسير بيئاتها الترسيبية، وفي الحقل عموماً يجب أن تُدْرس الحدود بين السحنات المتعاقبة رأسياً بدقة وتحديد ما إذا كانت حدوداً حادة أو إنتقالية. والحدود الأخيرة قد تشير إلى أن بيئات السِحنات كانت متجاورة جانبياً بينما تفسر الحدود الحادة على أنها حدثت نتيجة لتغيرات أساسية في بيئة الترسيب.

ومن المفيد جداً في الحقل تسجيل عدد الدورات وتكرار التتابعات. والمعلومات السابقة تكون حينئذٍ قد أسهمت في وضع تتابع سِحني تجمعي (Composite Faceis Sequence) .

والمخطط السِحني (Facies Scheme) يجب أن يظل بسيطاً كلما أمكن حيث أن التقسيمات الكثيرة قد يكون من الصعب فهمها أو هضمها. ومن أجل ذلك فإن هناك عديد من السِحنات سيكون لزاماً جمعها معاً وهذا في حد ذاته مشكلة وفي هذه الحالة سيكون على الدارس التعامل مع السِحنات الفعالة.

التجمعات السِحنية (Facies Associations):

عرَّف بوتر (Potter) عام ١٩٥٩م التجمع السِحني على أنَّه جمعٌ من الصفـــات الرســـوبية المتصاحبة التي تشمل كلاً من السُّمْك والإمتداد للوحدة الصخرية وإستمراريتها وشكلها وأنـــواع صخورها وبُنْياتها الرسوبية ومحتواها من بقايا الحياة وكائناتها. ويعبر عن التجمـــع السِـــحني بجدول أو ملخص إحصائي أو مخطط توضيحي.

وهناك طريقتان للتعرف على التجمع السِجني (Facies Assemblage) وهما :

١ – الإحصاء المتعدد (Multivariate Statistics) مثـــل التحليـــل العنقـــودى (Cluster Analysis) وتحليل العامل (Factor Analysis) وذلك لتحديـــد التجمعـــات الطبيعيـــة للخواص الرسوبية.

٢ – رتبة تواجد السحنات الحجرية في القطاع الرسوبي.

ومن الطرق الحديثة في التعرف على التجمع السِحني طريقة التحليل المتسلسل لمـــاركوف (Markov Chain Analysis).

إستخدام الإحصاء المتعدد العناصر : إستخدم بوردي (Purdy) ٢١٨ عينة مـــن رصيـــف البهاما الأعظم (Great Baham Bank) حيث تعرف على ١٢ مكوناً عضوياً وغـــير عضـــوي وبإستخدام التحليل العنقودى (Cluster Analysis) لتحديد أي المكونـــات تتواجـــد معـــاً أمكـــن التعرف على ٥ سحنات حجرية مميزة.

وإستخدام فرند وآخرون (Friend et al.) مجموعة متعددة من المعاملات الإحصائية لدراسة سحنات الرواسب غير البحرية للعصر الديفوني. وفي هذه الطريقة قسم القطاع إلـــى أجـــزاء سُمْك كل منها ١٠ أمتار، وعُرِّفت الصفات الآتية لكل جزء : اللون الأحمر – اللـــون غـــير الأحمر، الغرين الناعم والمتوسط والخشن، الرمل الناعم والمتوسط والخشن والخشـــن جـــداً، الرواهص، الحجر الجيري، التطبق المستوِ في الحجر الرملي، علامات النيم المتماثلة وغـــير المتماثلة، التطبق المتقطع المستوِ والحوضي، التشوه، الدرنات، التطبق المستوِ فـــي الغريـــن، التطبق العدسي في الغرين. وبعد إستخدام تحليل العامل (Factor Analysis) قسمت العنـــاصر إلى مكونات أساسية إلى سبعة مجموعات.

النموذج السِحني (Facies Model) :

هو ملخص عام لبيئة رسوبية محددة ويوصـــف بطـــرق مختلفـــة علـــى هيئـــة تتابعـــات مثالية لسِحنات متعاقبة رأسياً أو قطاعات طباقية مثاليـــة محـــددة لبيئـــة خاصـــة ، أو علـــى

هيئة أشكال توضيحية مجسمة ثلاثية الأبعاد تظهر بُنية مثالية وسِحنات مختلفة، وأخيراً في شكل رسوم بيانية أو معادلات أو معاملات تفيد في التعرف على السِحنات المختلفة.

أهداف النموذج السِحني

وفقاً لوالكر ١٩٨٤م (Walker) فإن النموذج السحني يجب أن يقوم بأربعة وظائف (شكل ٤٢) هي :

١ – يجب أن يقوم بدور المرجع القياسي (Norm) من أجل مقارنته بأمثلة محلية طبيعية وأيضاً للمقارنة بنماذج سحنية أخرى لبيئات متشابهة.

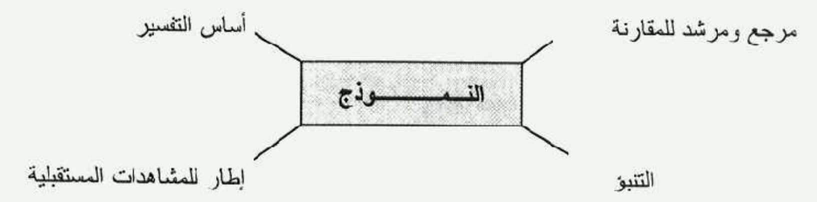
٢ – الإطار والمرشد لتفعيل دور الملاحظات التي تسجل في الدراسات المستقبلية.

٣ – المدخل النظري الذي يمكن من خلاله التنبؤ بالنسبة للمواقع المحلية حديثة الدراسة.

٤ – النموذج للتفسير العلمي للظروف البيئية.

يهدف النموذج السحني ببساطة إلى بسط المعلومات عن طريق تبسيط (Simplifying) وترتيب (Ordering) وتجميع (Categorizing) وتفسير (Interpreting) الصفات الصخرية وذلك عن طريق تنقية التفاصيل المحلية (Distilling Local Details).

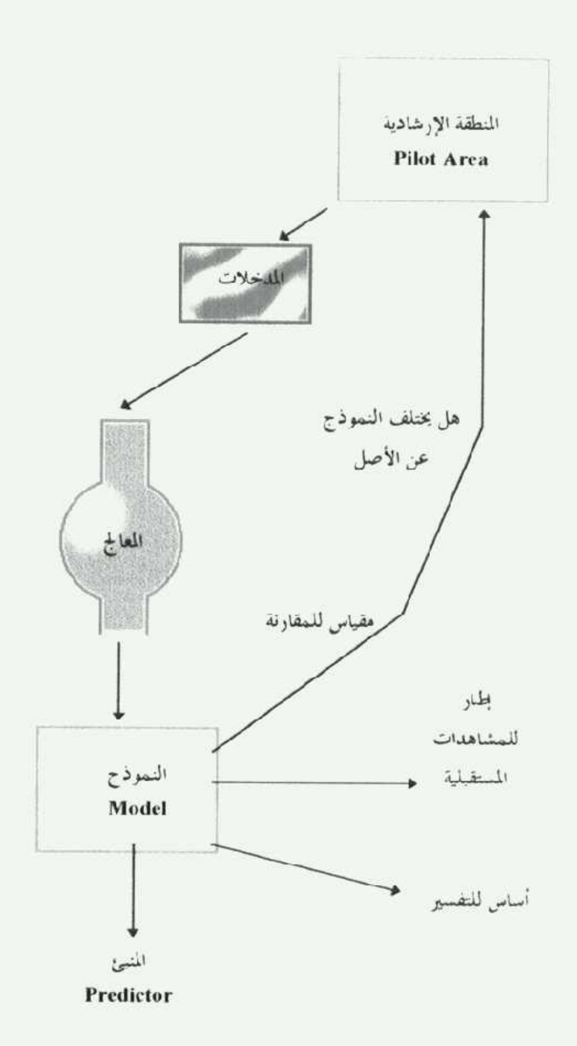
أنواع نماذج السِحنات (شكل (٤٢) :



شكل (٤٢) : شكل مبسط للنموذج السحني.

١– نماذج وضعية عبارة عن ملخصات مكتوبة للتعرف على خصائص البيئات.

٢– نماذج هندسية في شكل خرائط طوبوغرافية – قطاعات – مجسم الأبعاد الثلاثة – أشكال بيانية.



المنطقة الجديدة + النموذج الراشد = تنبؤات في منطقة جديدة

شكل (٤٣) : رسم توضيحي لتشييد النماذج السحنية باستخدام إحدى المناطق الإرشادية.

٣ – نماذج إحصائية، مثل (Multiple Linear Regression, Trend-Surface Analysis, factor analysis .....) ... إلخ.

٤ – الحاسوب الآلي لفحص أكثر من طبقة من المعلومات. وعلى الرغم من النجاحات الهائلة التي يحرزها الحاسوب في عمليات تحليل الدراسات الأرضية فقد حذر هالام(Hallam) من إغواء الحاسوب بعيداً عن المشاكل الحقيقية إنخداعاً بجمال التقانة وقد نص على أنه "لا يجب إستخدام مِرْزَبَّة الحداد لكسر بندقة" خاصة إذا وجدت مدخلات تعطي بيانات أحسن من تلك التي نحصل عليها عن طريق البرامج المعقدة.

بيئات الترسيب

نستعرض في عُجالة بيئات الترسيب الحديثة كمدخل لفهم بيئات الترسيب القديمة ذات الأهمية في دراسة طبقات الأرض. وحيث أن السحنة الرسوبية تمثل ناتج الإستجابة (Response) للعوامل البيئية فسنذكر خواص كل بيئة ترسيبية بحرية كانت أو قارية وأنواع وخصائص الصخور الناتجة من عمليات الترسيب منها :

أ – **البيئات البحرية (Marine Environments)** : وتنقسم إلى بيئة شاطئية أو قرب شاطئية بيئية قاعية وأخرى عميقة.

١ – بيئة ضحلة المياه، عالية الطاقة (High Energy Littoral and Shallow Sublittoral) : تتميز بأنها ضحلة المياه، عالية الطاقة، عَكِرَة مضطربة ، مُرَسية لجسيمات خشنة الحبات وهياكل مكسرة للكائنات الموجودة بدون ترتيب محدد وموزعة عشوائياً. وينتج عن هذه البيئة صخور الحجر الرملي المتطبق نوعاً ما.

٢ – بيئة بحرية بعيدة عن الشاطئ منخفضة الطاقة –هادئة –عميقة المياه أو شديد العمق، قليلة الضوء إلى مظلمة (Sublittoral, Bathyal & Abyssal hadal) : وهي بيئة هادئة غير مضطربة منخفضة الطاقة، مُرَسِبة للمواد الدقيقة وحاوية على كائنات قاعية وفيرة ويترسب في هذه البيئة الوحل ، وتظهر الصخور المتكونة تطبقاً جيداً وأحياناً تكون متدرجة في حمولتها لأعلى من المواد الخشنة إلى الحبيبات الدقيقة، وبقايا هياكل الكائنات بصفة عامة غير مكسرة.

٣ – بيئة الشعاب (Reef Environments) : تتميز البيئة إلى جسم الشعاب (Proper Reef) أو مسطح الشعاب (Reef Flat) وجبهة الشعاب (Fore-Reef) ومؤخرة الشعاب (Back-Reef). وتُكوِّن الكائنات بانيات الشعاب كتلاً جيرية غير متطبقة على هيئة عدسات أو قمم، وتتكون مقدمة الشعاب من الحجر الجيري الناتج من تكسير الشعاب بينما تتكون مؤخرة الشعاب من طبقات أفقية من الحجر الجيري الغني بالأحافير المترسب في بحيرات تتدرج رواسبها في اتجاه الشاطئ إلى الحجر الرملي أو المتبخرات.

٤ – البيئة العكرة (Turbidites) العميقة العالية الطاقة : وتسود فيها التيارات التحتية والحركات الأرضية التي تقتطع الكتل الكبيرة. وتتكون في هذه البيئة رواسب العواصف المُعَكِرة في هيئة دورات رسوبية. وتتدرج الرواسب حتى في الطبقة الواحدة من الأحجام الخشنة إلى الأحجام الدقيقة. وتظهر الطبقات ترققاً وتطبقاً جيداً ، وتتكون من الرمال الناعمة والغرين.

٥ – البيئة اللُجية بيئة العوالق أو الهائمات في البحار المفتوحة [Pelagic (Open Sea) Environment] : ترسب البيئة ببطء هياكل الشعاعيات والمشطورات (Diatoms) والطين الناعم والمارل والحجر الجيري ، بالإضافة إلى وجود جسيمات بركانية. وفي هذه البيئة تتكون صخور الطباشير والطين والحجر الجيري والدلوميت والظِّر (Chert) ودرنات الحديد والمنجنيز وكريات كَوْنية النشأة بالإضافة إلى وفرة المواد العضوية.

ب – **البيئات غير البحرية (Non-Marine Environments)** : تتميز البيئات غير البحرية إلى بيئات نهرية (Fluvial) وأخرى هوائية (Eolean) وثالثة جليدية (Glacial) (جدول ٩).

وللمزيد من التفاصيل المتقدمة والمتعلقة بالسحنات والبُنْيات الرسوبية يستحسن مراجعة كتاب أسس علم الرسوبيات للأستاذ الدكتور محمد عبد الغني مشرف، الفصل الثامن من صفحة ٢٧١ حتى صفحة ٤٨٧.

جدول (٩) خواص البيئات القارية وماينتج عنها من مكونات.

البيئة	الخواص	الموادالناتجة
نهرية	١- نقل وترسيب حطام صخري جيد الإستدارة قليل إلى متوسط الفرز ، يتدرج في الحجم من الغرين إلى الجلاميد. ٢- الترسيب في مجاري أنهار أو وديان غير منتظمة الشكل - مستطيلة أو عدسية الشكل وتوجد بها بقايا بعض نباتات وحيوانات برية.	١- رواسب الرصيص والحجر الرملي. ٢- رواسب ضعيفة التطبق مع أجسام عدسية وطبقات ذات تطبق متقاطع (Cross-Bedding). ٣- بقايا نادرة من الحيوانات والنباتات البرية.
هوائية	١- ترسيب بطيء لجسيمات عالية الفرز ، دقيقة التحبب وغالباً مستديرة. ٢- تكوين الكثبان الرملية.	١- حجر رملي يتكون من حبيبات المرو مستديرة - عالية الفرز وقد يصحبها حبيبات من بعض المعادن الثقيلة وتكون سطح الحبيبات المستديرة منقراً (Pitted) . ٢- طبقات ذات تطبق متقاطع قوية التقعر.
الجليدية	١- نقل كميات كبيرة من الكتل الصخرية لرواسب عديمة الفرز ، والكتل عادة حادة الزوايا ، والرسوبيات تتراوح أحجامها من الطمي إلى الجلاميد. وتتواجد كتلاً هائلة داخل المثالج. ٢- تكسير الصخور عند ذوبان الجليد.	١- رواسب الحريث (Tillites) المتكونة من جسيمات حادة عديمة الفرز يوجد على سطحها خطوط متوازية نتيجة الزحف الجليدي على الأرض. ٢- رواسب قبابية أو دروع من جسيمات عديمة الفرز من كل الأحجام. ٣- رواسب من الغرين والرمل في شكل طبقات تأثرت بالرياح ، وتكون رواسب التربة الطفالية (Loess). ٤- تضاريس تميز ظواهر التعرية الجليدية.

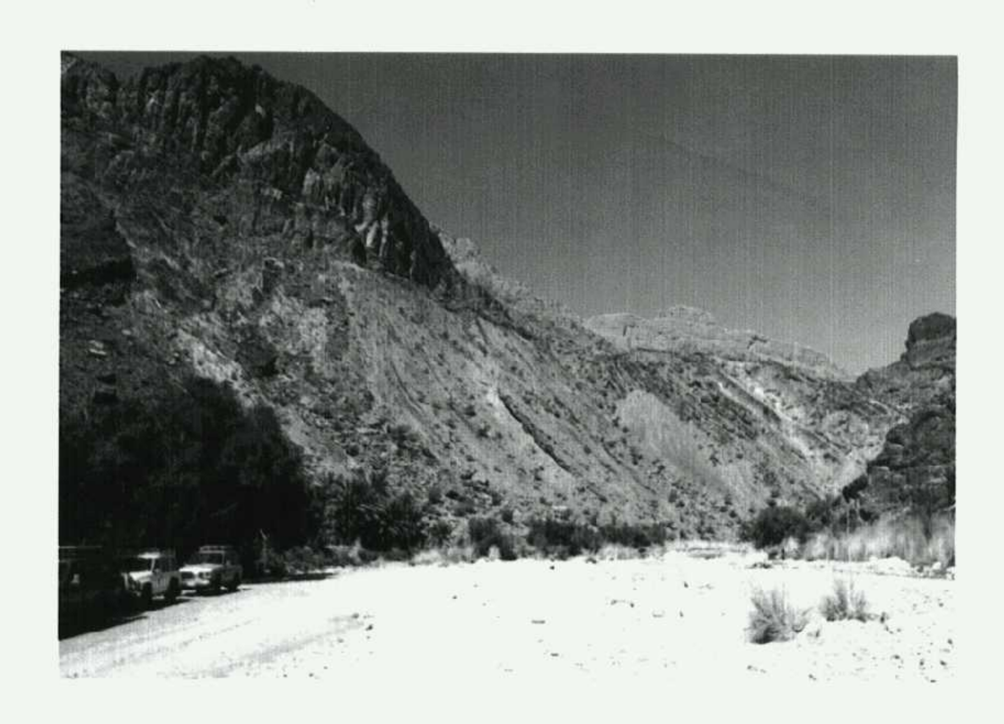
القسم الثاني

أساسيات علم طبقات الأرض وطرائقه

الفصل الثامن

علم طبقات الأرض: المفهوم والحدود

- علم وأفرع الطباقية
- **الحـــدود الطباقية :** التوافق وعدم التوافق ، حدود الوحدات الطِباقية



صورة لأحد الحدود الطباقية الهامة والتي تمثل عدم توافق زاوٍ بين مجموعة صخور ما قبل البرمي ومجموعـــة صخور حقب الحياة المتوسطة. في وادي بني عوف، سلطنة عمان. (صورة ألتقطت بواسطة المؤلف).

علم طبقات الأرض (الطِباقية) (Stratigraphy) : المفهوم والحدود

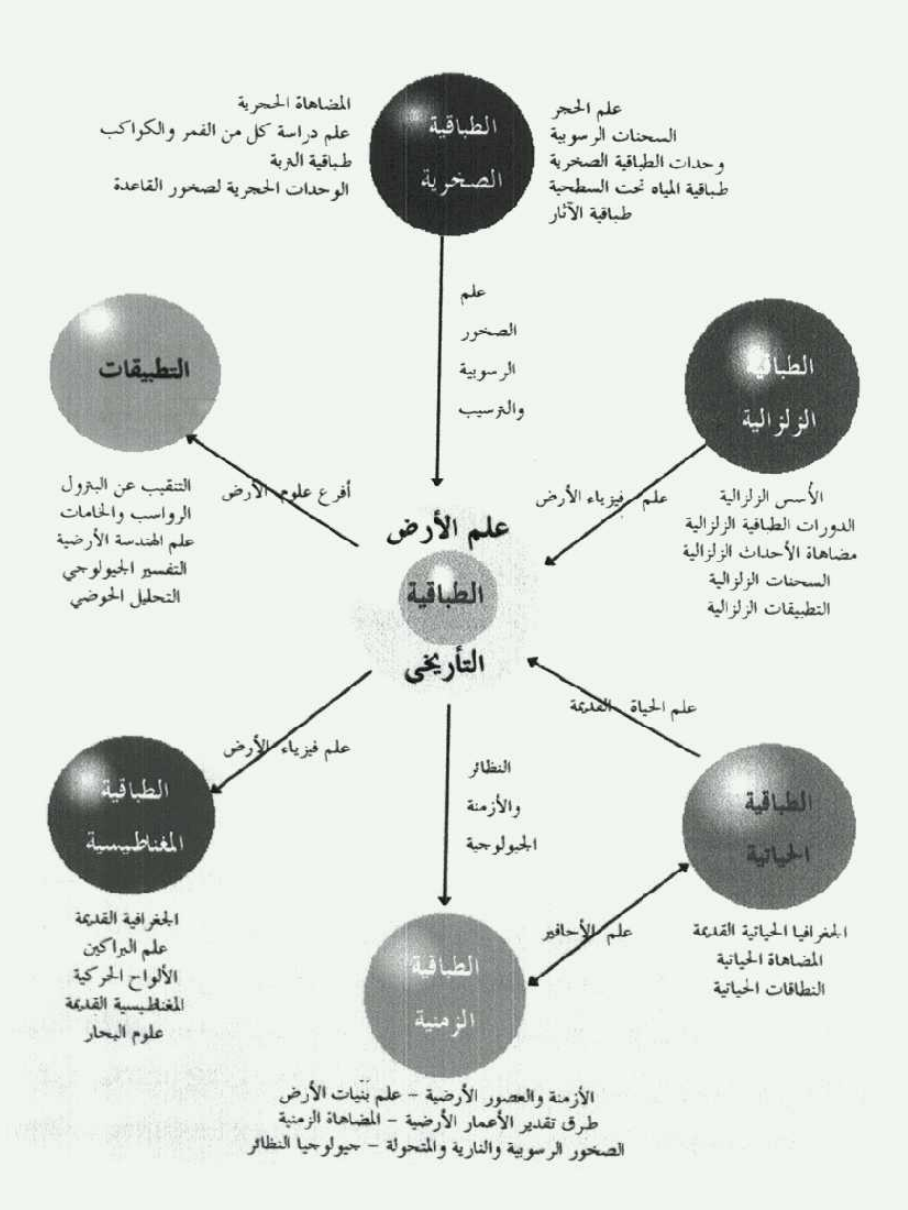
علم طبقات الأرض وفروعه المختلفة (الطباقية)(Stratigraphy) :

كلمــة الطِباقيــة هــي ترجمــة للمصطلــح الأجنبــي (Stratigraphy) و المصطلــح مشتق مــن الكلمــة اللاتينيــة (Stratum) بمعنــى طبقــة والكلمــة الإغريقيــة (Graphia) والتي تعني الكتابة الوصفية. وكلمة طِباقية ببساطة تعنــي دراســة الطبقــات المتتابعــة.

وقد عَّرف جرابو (Grabau) عــام (١٩١٣م) الطِباقيــة بمعناهــا الواســع علــى أنــها الجانب الغير عضــوي مــن علــم تــأريخ الأرض ، أي الجــانب المَعْنِــي بنُمــو الغــلاف الصخري عبر الأزمنة الأرضية. ومن ثم فــهذا التعريــف يُعــد مقصــوراً علــى الطِباقيــة الحجريــة (Lithostratigraphy) ، ثــم اتســع التعريــف ليشــمل الطِباقيـــة الحياتيـــة (Biostratigraphy) التي تهتم بدراسة تتابع الأحــافير فــي الصخــور الرســوبية ، وشــمل التعريــف أيضــاً أنواعــاً أخــرى مــن الطِباقيــة المغناطيســية (Magnetostratigraphy) والطِباقية الزلزاليـــة (Seismic Stratigraphy).

وتمثل الطباقية القلب من الجسد لعلم تــأريخ الأرض وترتبــط إرتباطــاً وثيقــاً بغيرهــا من أفرع علــوم الأرض (شــكل ٤٤)، حيــث أنَّ الطــرق الطِباقيــة مــن أهــم الوســائل الواجب أن تــنطبق عند دراسة أرض القمــر، والكواكــب الأخــرى التــي تشــبه كوكــب الأرض، وتُطبق فــي التنقيــب عــن النفــط والغــاز الطبيعــي وغيرهمــا مــن الــثروات المعدنية والمائية، وفي دراسة التربة والآثــار، وتتابعــات الميــاه الجوفيــة، وفــي دراســة البنيات الأرضية، واستنتاجات كل مــن البيئــات والجغرافيــا القديمــة. وترتبــط الطِباقيــة كما أشرنا بعلاقات وثيقة مع مختلــف أفــرع علــوم الأرض، وتســمى علــم طباقيــة الأرض (Stratigraphic Geology) أو علــم الأرض الطبـــاقي (Stratigraphical Geology).

ويهتم علم الطِباقيــة أساســاً بمشــاهدة ووصــف وتفســير تتابعــات الصخــور. ومــن الإهتمامــات الرئيســة فــي الدراســات الطِباقيــة تحديــد التعــاقب، والعلاقــات الزمنيــة، والتوزيع الجغرافي، ومضاهــاة الصخــور. كمــا تعنــي بأشــكالها وتوزيعاتــها وتركيبــها الصخري ومحتواها الأحفوري وخواصـــها الفيزيائيــة والكيميائيــة. وتفســير نشــأتها فــي ضوء بيئتها أو نموذج تكوينـــها وتاريخـــها.



شكل (٤٤) لوحة توضح تقسيمات وأُسس وتطبيقات الطِباقية وعلاقتها بأفرع علوم الأرض المختلفة.

وتقع جميع الصخور أيا كان نوعها رسوبية كـــانت أم ناريـــة أم متحولـــة فـــي مجـــال الطِباقيـــة. ووفقـــاً للجنـــــة الفرعيـــــة الدوليـــــة للتقســـيم الطِبـــاقي [International Subcommission on Stratigraphic Classification (ISSC)] فـــإن الطِباقيـــة هـــي ببســـــــاطة علـــم طبقـــــات الصخـــر. إلا أن لجـــــــنة التسمـــــــــية الطِـــــباقية لأمـــــــريكا الشـــمالية [North American Commission on Stratigraphic Nomenclature (NACSN)] تنـص علـــى أنـــه "بـــالرغم مـــن أن الطـــرق الطِباقية والأُسس الطباقيـــة قـــد ارتبطتـــا أصـــلاً بـــتركيب طبقـــات الصخـــر والأحـــداث المسجلة بها ، إلا أنها قابلـــة للتطبيـــق علـــى كـــل مـــواد الأرض وليســـت قـــاصرة علـــى الطبقات فقط. ومن ثم فإننا نفضل إستعمال كلمـــة الطِباقيـــة أو علـــم الطِباقيـــة علـــى كلمـــة الطبقية أو علم الطبقات ليتسع مدلولـــها ليضـــم كـــل التتابعـــات ســـواء المتطبقـــة منـــها أو غير المتطبقة حيث أنها تشير إلى تعاقب طبق عـــن طبـــق.

وهناك تعريف آخر للطباقيـــة يذكـــر أنـــها "أحـــد أفـــرع علـــوم الأرض التـــي تتنـــاول تعريف ووصف تقسيمات الصخور خاصـــة الصخـــور الرســـوبية، وتفســـير أهميتـــها فـــي التأريخ الأرضي ، وتشمل تحديد تتـــابع أو تعـــاقب الصخـــور الرســـوبية علـــى المســـتوى المحلـــي (Local) أو الإقليمـــي (Regional)، وتتبـــع توزيعاتـــها ومشـــاهدة التغـــير فـــي صفاتها جانبياً ورأسياً ومضاهاتـــها بـــالوحدات المتشـــابهة ، وأخـــيراً دراســـة الظـــروف و الأحداث الأرضية التي مرت بها في أثنـــاء نشـــأتها".

وتشـــمل الطِباقيـــة بمعناهـــا الواســـع نوعيـــن مـــن التقســـيمات ؛ النـــوع الوصفـــي (Descriptive) ويطلـــق عليـــه الطِباقيـــة الصخريـــة أو الطِباقيـــة الأوليـــة (Protostratigraphy) والطباقيـــة الحياتيـــة (Biostratigraphy) . والنـــوع الثـــاني يســـمى الطِباقية المفسرة (Interpretive) وتشمل على ســـبيل المثـــال المضاهـــاة وتشـــييد الطِباقيـــة المحلية واستنتاج كل من العمر والبيئـــة القديمـــة.

ولسوف نناقش في هذا الجزء من الكتاب بصفـــة أساســـية ثلاثـــة أنـــواع مـــن الطِباقيـــة وهـــي: الطِباقيـــة الصخريـــة (Lithostratigraphy) والطِباقيـــة الحياتيـــة (Biostratigaphy) والطِباقيـــة الزمنيـــة (Chronostratigraphy) بالإضافـــة إلـــى نبـــذة قصـــيرة عـــن الطِباقيـــة الزلزاليـــة (Scismic Stratigaphy) ، والطباقيـــة المغناطيســـية (Magnetostratigraphy) بالإضافـــة إلـــى مبـــاديء وعُـــرف التســـمية الطِباقيـــة والقـــانون الطِبـــاقي.

الحدود الطِباقية (Stratigraphic Boundaries) :

التوافق وعدم التوافق

١ – **التوافق (Conformity)** : توصف تتابعات الطبقات المتوازية بأنها طبقات متوافقة (Conformable) والمعتقد أنها تكونت نتيجة الترسيب المستمر الذي تبعه حفظ مستمر لطبقات متوافقة (Conformable Beds). ونظراً لصعوبة تصور حدوث الإستمرارية المطلقة في الترسيب في تتابع ما دون وجود إنقطاع طباقي (Stratigraphic Breaks) تُستخدم مرادفات مثل مصطلح متفق أو متئالف (Concordant) بدلاً من مصطلح متوافق (Conformable) عند وصف تتابع الطبقات المتوازية ويستخدم مصطلح غير متفق أو غير متئالف (Discordant) لوصف أسطح الحد غير المتوافقة.

علاقات التوافق : يمكن أن تكون الحدود المتوافقة حادة أو إنتقالية أو متداخلة (شكل ٤٥).

أ – حدود حادة (Abrupt Contacts) : توجد بين التتابعات الرأسية، وهي نادرة نسبياً ومحدودة الإمتداد وتتكون في ظروف الترسيب البطئ وقد تنتج بفعل العمليات اللاحقة للترسيب.

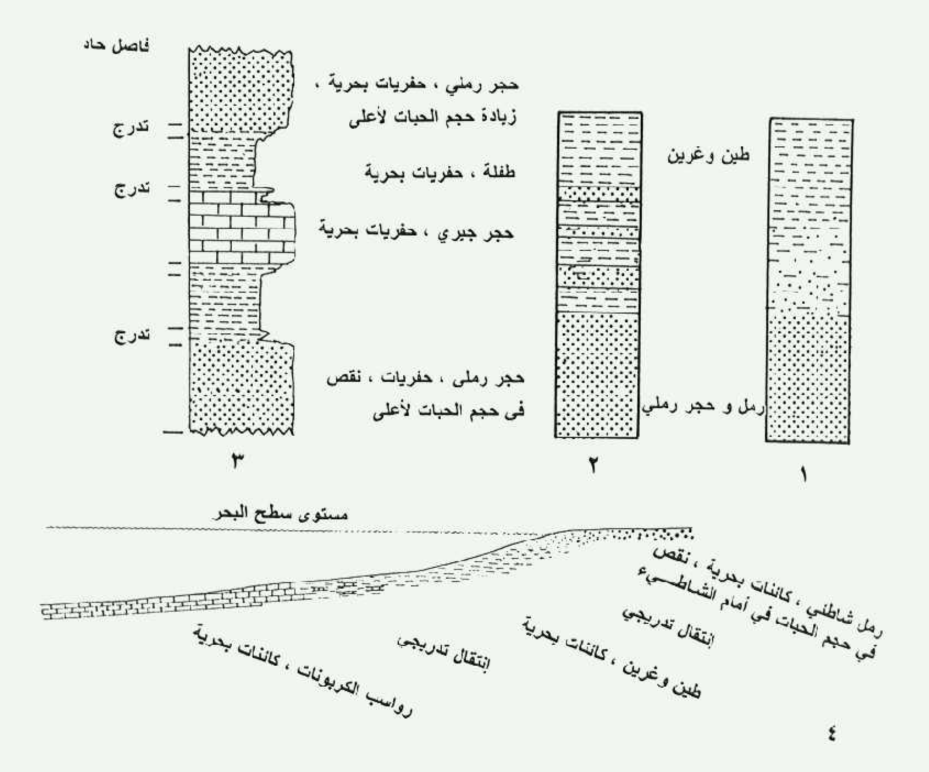
ب – **حدود متدرجة أو إنتقالية (Gradational or Transitional Contacts)** : وهي تعكس تغيراً تدريجياً في ظروف الترسيب مع مرور الزمن، وهي إما :

١ – **حدود متقدمة (Progressive) أو مختلطة (Mixed)** : وتصف حالة تدرج من راسب إلى آخر ، مثل التدرج من طبقة من الحجر الرملي إلى طفلة (طين صفحي) مروراً بحجر الغرين (Sandstone → Siltstone → Shale) . وتقترن هذه الحدود بتغيرات شبه منتظمة من حجم الحبات والتركيب المعدني وغيرهما من الصفات الفيزيائية.

٢ – **أو حدود متداخلة (Intercalated)** : تصف طبقات متداخلة مع بعضها البعض ذات تركيب حجري مختلفة.

٢ – **عدم التوافق (Unconformity)** : توصف الطبقات التي لا تتبع ما تحتها بانتظام بأنها غير متوافقة (Unconformable) ، فمثلاً يقال لطبقات من العصر الديفوني المرتكزة مباشرة على طبقات الأوردوفيشي بأنها غير متوافقة نظراً لعدم وجود طبقات بينهما تتبع العصر السيلوري.

يمثل عدم التوافق أحد المبادئ الرئيسية في الطباقية. وتمثل أسطح عدم التوافق أسطحاً طباقية (Stratigraphic Surfaces) مدفونة وهي قد تكون أسطح تحات (Erosional Surfaces) أو أسطح عدم ترسيب (Surfaces of Non-Deposition) أو كلاهما معاً. وأسطح عدم التوافق عادة ما تَحُدُ الوحدات الصخرية الكبيرة (Major Rock Units) والوحدات الصخرية الزمنية (Time Rock Units) في منطقة الدراسة.



شكل (٤٥) أنواع الحـــدود المتوافقة وكيفـــية ترسبها. ١- حد تدرج رأسي متقدم أو مختلـط من الطَّفْلة الرملــية. ٢- حد متداخل من الطَّفْلة والحجر الرملي. ٣ - حد تدرج رأسـي في تتـابع رسوبي بحري النشأة مؤلف من حجر رملي وطَّفْلة وحجر جيري يحتوي على أحافير. ٤- نشأة حـدود التدرج في تتابع جانبي في الظروف البحرية.

(From Matthews, R. k., 1984, Figs. 2.1-2.3)

ويعرف عدم التوافق على أنه :

١ - انقطاع في الزمن غير مسجل في السِجل الصخري.

٢ - عدم إستمرارية طباقية (Stratigraphic Discontinuity) بارزة، أو أنه

٣ - أي فترة فقد في الزمن لم تترك سِجلاً طباقياً.

وفيما يلي نذكر بعض المصطلحات الخاصة بعدم التوافق :

عدم التوافق الطفيف (Diastem) : مصطلح يطلق على التوقف أو الإنقطاع المؤقت الطفيف في عملية الترسيب والذي قد يصحبه قليل من التآكل قبل إستمرار الترسيب مرة أخرى.

الزمن المفقود (Hiatus) : يطلق هذا المصطلح في الطباقية على الزمن الذي لا يمثله طبقات عند نقطة ما من القطاع أو التتابع، أو الزمن الذي يتوقف فيه الترسيب عند نقطة ما من التتابع.

الفجوة في السجل الترسيبي (Lacuna) : يستخدم المصطلح في الطباقية ليعبر عن إنقطاع في السجل الطباقي.

أهمية أسطح عدم التوافق : تستخدم أسطح عدم التوافق (Unconformity Surfaces) في تأريخ الأحداث الأرضية الهامة المسببة لها. وتشمل هذه الأحداث فترات التثني (Folding) أو التصدع (Faulting) أو كليهما وفترات كل من الرفع (Uplift)، والمتداخلات النارية (Igneous Intrusions) ، والتحول الإقليمي (Regional Metamorphism)، والطفوح البركانية (Volcanic Flows) . وحينئذ يمكن القول بأن الأحداث وقعت قبل (Predate) أو بعد (Postdate) تكوين سطح عدم التوافق.

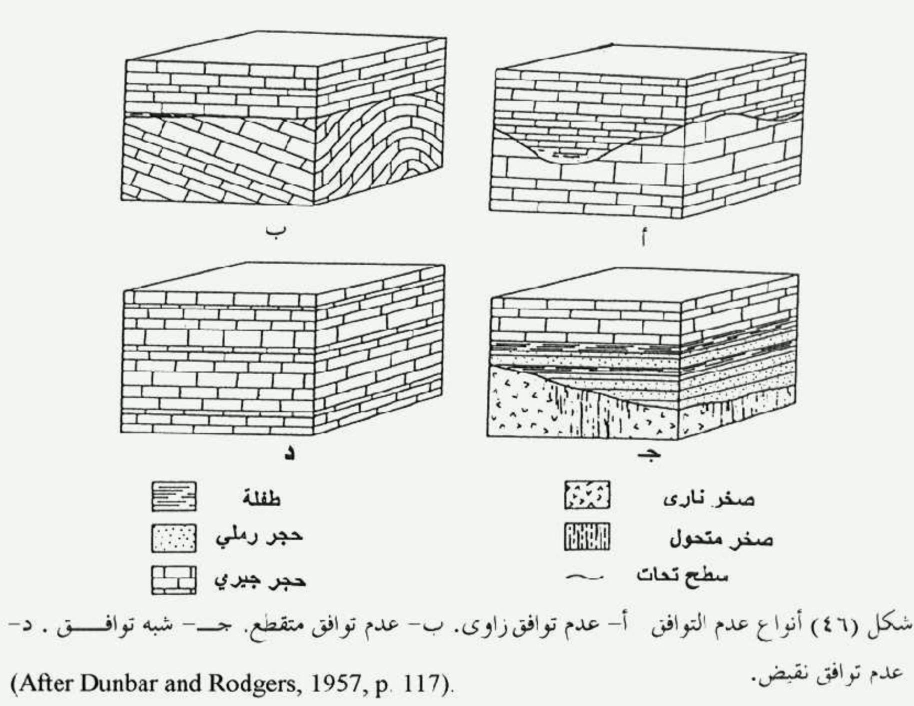
أنواع عدم التوافق (شكل ٤٦) :

١ – **عدم التوافق الزاوي (Angular Unconformity) :** حيث توجد علاقة زاوية بين طبقات الصخور الرسوبية القديمة المشوهة والطبقات الرسوبية الأحدث والأقل تشوهاً. ويلاحظ أن الطبقات التي تقع مباشرة فوق سطح عدم التوافق دائماً موازية (أو شبه موازية) لسطح عدم التوافق (شكل ٤٧–أ).

٢ – **عدم توافق متقطع (Disconformity) :** يتكون عدم التوافق بين طبقات أسطحها متوازية، وهو غير واضح مقارنة بالنوعين السابقين ويحتاج إلى فحص دقيق للتعرف عليه ، وسطح عدم التوافق يكون متعرجاً قاطعاً مستويات الطبقات (شكل ٤٧–ب).

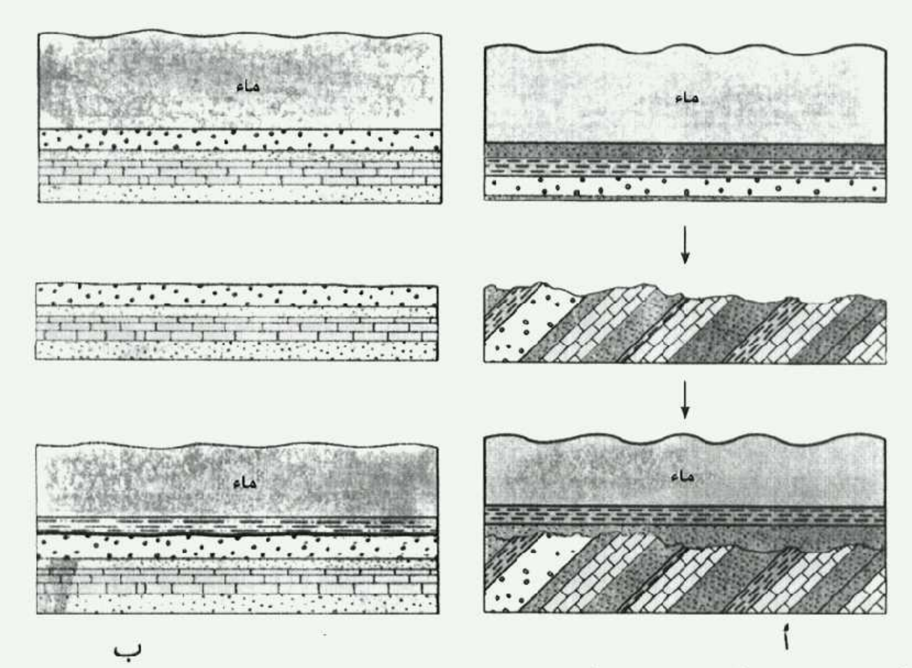
٣ – **شبه التوافق (Paraconformity) :** هذا المصطلح يعبر عن سطح عدم توافق موازٍ لأسطح الطباقية (شكل ٤٧–جـ) حيث هو ببساطة مستوى تطبق (Bedding plane) ، وهو يمثل عدم استمرارية في الطباقية الحياتية (Biostratigraphy) داخل تتابعات الطبقات المتوازية وتحدده أساساً الشواهد الأحفورية.

٤ – **عدم التوافق النقيض (Nonconformity) :** وهو سطح طباقي يفصل بين الصخور المتبلورة (النارية والمتحولة) والصخور الرسوبية الأحدث منها (شكل ٤٧–د)، ويسمى أيضاً عدم توافق تخالفي.



شكل (٤٦) أنواع عدم التوافق أ– عدم توافق زاوى. ب– عدم توافق متقطع. جـ– شبه توافـــق . د– عدم توافق نقيض.

(After Dunbar and Rodgers, 1957, p. 117).



شكل (٤٧) مراحل تكوين كل من : أ– عدم التوافق الـــــــــزاوي.

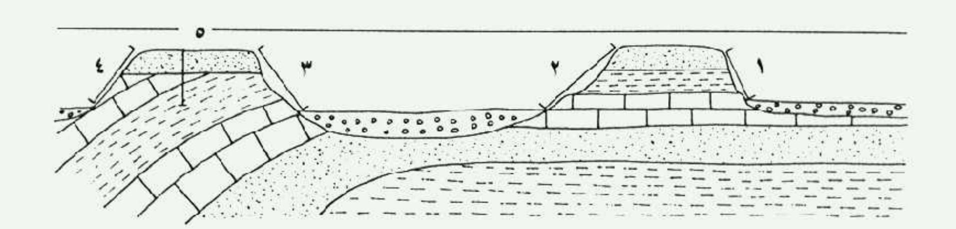
ب–عدم التوافق الـــمتقطع.

(From Montgomery, C.W., 1993, Figs. 8.6 and 8.5 respectively)

أبعاد عدم التوافق :

١ – عدم التوافق المحلي (Local Unconformity) : يشغل إمتـداداً جغرافيـاً محـدوداً، وينمو عند حواف أحواض الترسيب وعبر محاور إتجهات البُنيات حيث يحدث استمرار للترسيب في المناطق المتاخمة لها. وفي الواقع يمكن التعرف على عدم التوافق المحلي عند نقطة ما في القطاع المحلي.

٢ – عدم التوافق الإقليمي (Regional Unconformity) : يشغل إمتداداً جغرافياً كبيراً على المستوى الإقليمي أو حتى على مستوى قارة بأكملها **وينمو خلال الرواسب السميكة** المتكونة في أحواض الترسيب أو حول حوافها عبر المرتفعات، **ومن الممكن عدم التعرف** عليه على المستوى المحلي، ويلعب دوراً هاماً في تقسيم **التتابع الطباقي، وفي ذلك لابد من** فهم علاقات التقدم والتراجع من أجل كشف أسرار **التعقيدات الطباقية كما يتضح من** الرسم **(شكل ٤٨).**



شكل (٤٨) في القطاعات ١ ، ٢ ، ٣ المقاسة لايتضح عدم التوافق بين الحجر الرملي الأعلى والطَّفْلة أسفل منه ، وعند قياس القطاع ٤ يظهر الحجر الجيري تحت الحجر الرملي الأعلى بدلاً من الطَّفْلة مما يشير إلى إختفائها بينما يصبح عدم التوافق الكبير مؤكداً في القطاع رقم ٥ وذلك عند قاعدة الحجر الرملي الأعلى.
(From Matthews, R. K., 1984)

شواهد التعرف على عدم التوافق : يمكن التعرف على عدم التوافق من الشواهد الرسوبية والأحفورية والبنائية (جدول ١٠) وأيضاً من الخرائط الأرضية والصور الجوية.

التجاوز أو التخطي [(Overstep (Overlap)] :

التجاوز هو السلوك الذي يقطع به سطح عدم التوافق الصخور أسفل منه وبعبارة أخرى يمثل التجاوز العلاقات بين القطاع المتجاوز (Overlapping Succession).

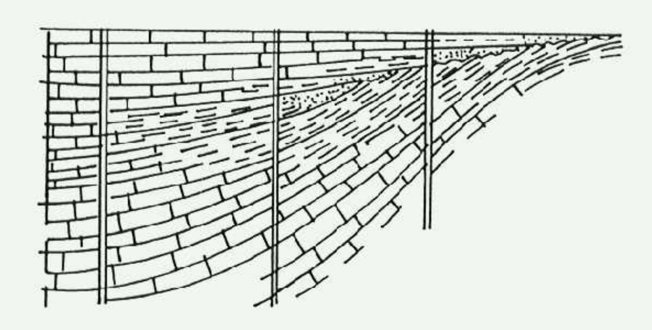
جدول (١٠) : شواهد التعرف على عدم التوافق.

(The Data were taken from Krumbein and Sloss,1963, P.314, Fig.9-5)

الشواهد الرسوبية (Sedimentary Criteria)	الشواهد الأحفورية (Paleontologic Criteria)	الشواهد البنائية (Structural Criteria)
الرصيص القاعدي، الطمي المتبقي، قطاعات التربة الدقيقة، نطق معدن الجلوكونايت، حصى الفوسفات، النطق الحاملة للمنجنيز	التغير المفاجئ في تتابع الأحافير، فجوات في التعاقب الأحفوري، وجود رصيص وكثرة عظام وبقايا لأسنان الحيوانات البائدة.	عدم توافق الميل فوق وتحت السطح، تعرج السطح الفاصل، القواطع المقطوعة عند السطح الفاصل، الصدوع المعقدة فوق وتحت السطح الفاصل.

والطبقات المقطوعة (Truncated Strata) أسفل عدم التوافق. ويرجع السبب في هذه الظاهرة أن درجة ميل الطبقات فوق وتحت سطح عدم التوافق غير محسوسة في المكشف المنفرد وتصبح هذه العلاقة مشهودة على المستوى الإقليمي فقط (شكل ٤٩).

يمكن التعرف على عدم التوافق الزاوي في الخرائط الجيولوجية حينما تتخطى أو تقطع قاعدة الصخور فوق عدم عدم التوافق مباشرة التكوينات التي تحتها.

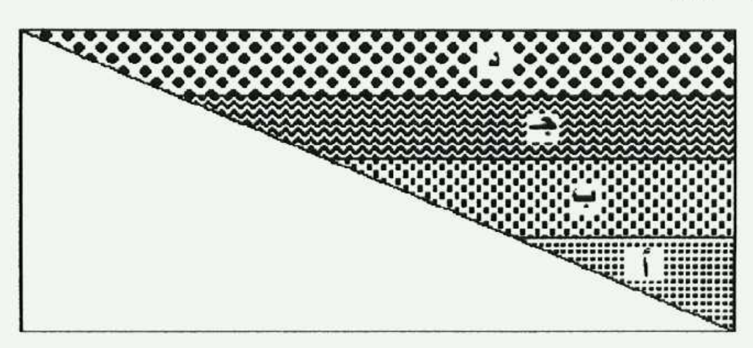


شكل (٤٩) قطاع يوضح فكرة التجاوز حيث تُغطِّي الطبقات تحت عدم التوافق باستمرار أو تعبر التكوينات تحت عدم التوافق.

(From Krumbein and Sloss, 1963, PP.308-309)

السبق أو التقدم [Overlap (Onlap)] :

السبق يعبر عن الطريقة التي تسلكها الطبقات التي تغطي سطح عدم التوافق عند ترسيبها نسبة إلى بعضها البعض وذلك في حالة عدم التوافق التي لا تتوازى مع أسطح الطبقات فوقها ولذا فإن كل تكوين يمتد جانبياً فوق سطح عدم التوافق بحيث يسبق التكوين السابق له ، هذا بالإضافة إلى أن التكوينات تستدق وتختفي عند حافتها قبالة عدم التوافق. وبهذا فإن الطبقات الأعلى في الوضع الطباقي تتقدم على نظيراتها الأسفل منها (شكل ٥٠). ونشير إلى أن المصطلح (Overlap) في المراجع الإنجليزية يقابله مصطلح (Onlap) في المراجع الأمريكية.



شكل (٥٠) توضيح علاقات السبق (التقدم) في القطاعات الطباقية حيث تتجاوز كل طبقة الطبقة التي تحتها وتستدق جانبياً حتى تختفي أو تكاد تختفي عند سطح عدم التوافق.

(From Schoch, page 88, Fig. 3.49. 1989, Nostrand Reinhold).

حدود الوحدات الطباقية الصخرية (شكل ٥١)

تُرسم حدود الوحدات الطباقية الصخرية عند :

أ – نقاط التغير الواضحة في التركيب الحجري كما في حالات تغير الحجر الجيري إلى حجر رملي أو طَفْلة أو حيثما يتغير الحجر الرملي إلى رصيص.

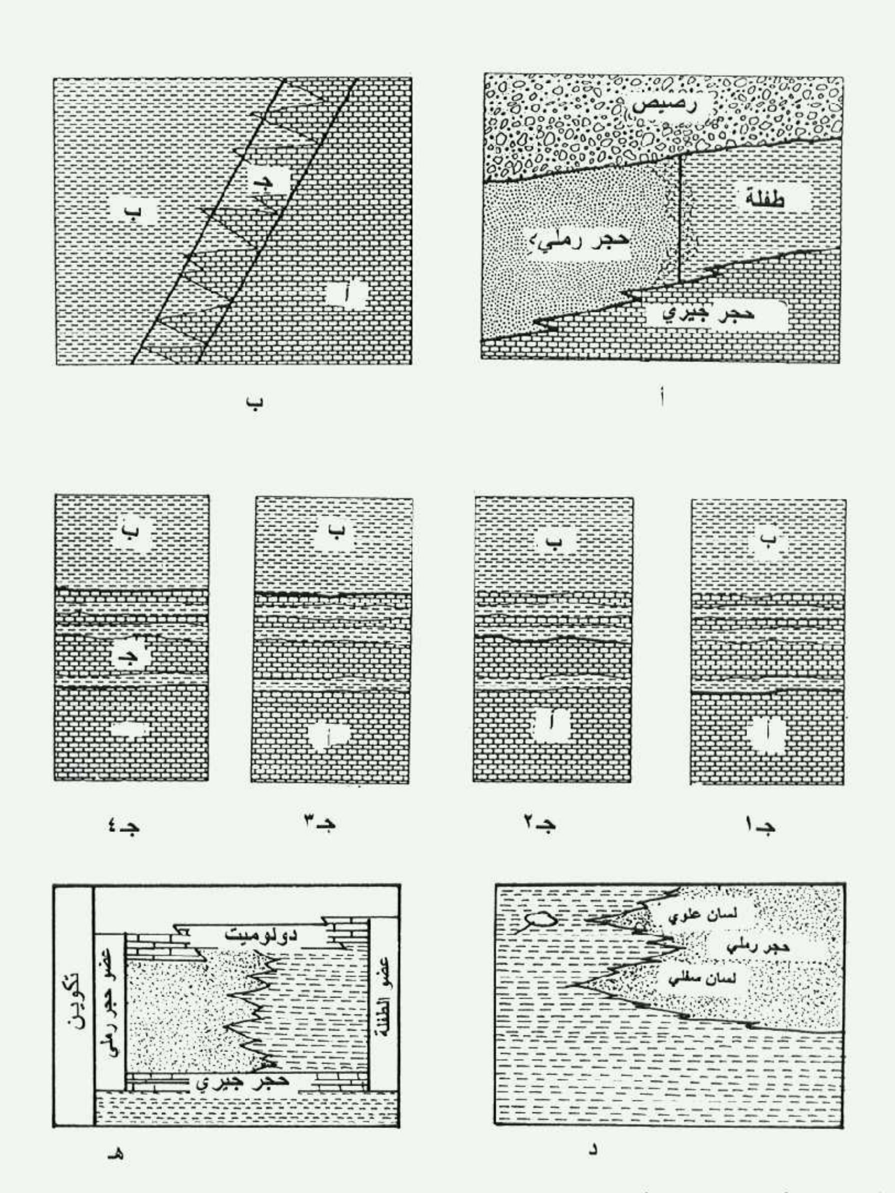
ب – داخل نطاق التداخل أو التَّلسُّن (Intertonguing) بين وحدتين صخريتين، ومن الممكن وصف النطاق السابق كوحدة مستقلة عن الوحدة التي تعلوها والتي توجد أسفل منها.

جـ – الطبقات المُمَيِّزة (Marker Beds) : وتشمل الحدود الطباقية الصخرية عدة حدود نوقشت في القانون الطباقي لأمريكا الشمالية وتضم الآتي:

١– الحدود في التتابع المتدرج رأسياً.

٢– الحدود في التغير الجانبي في التركيب الحجري.

٣- حدود الطبقات (الدليلية) المُمَيِّزة. ٤- حدود عدم التوافق.



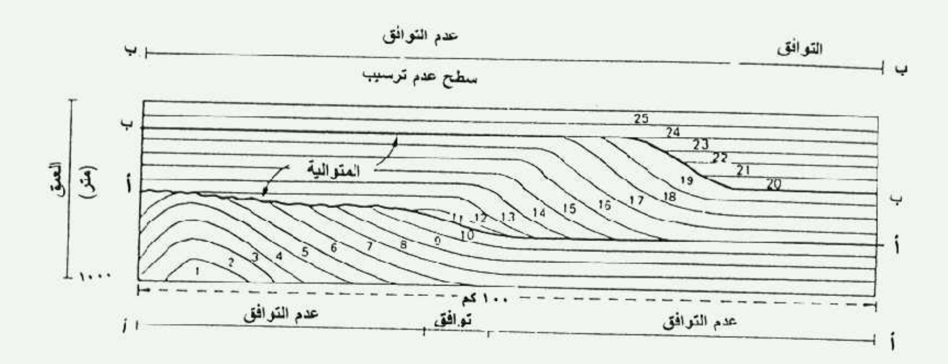
شكل (٥١) أمثلة توضيحية لأقسام وحدود الوحدات الطباقية الصخرية :
أ- فصل الحدود رأسياً بواسطة التغير الحاد في التركيب الحجري أو اختيارياً بين الوحدات المتدرجة جانبياً.
ب- فصل نطاق التداخل في وحدة مستقلة. جـ- جواز ضم منطقة تدرج بين الوحدتين إلى إحداهما (جـ١، جـ٣) أو فَصْلِها كوحدة مستقلة (جـ٤) أو تَقْسِيمها بين الوحدتين (جـ٢). د- امكانية تقسيم نطاق التداخل الى أجزاء. هـ- استخدام الطبقات المميزة فى تقسيم الوحدة الطباقية.

(Modified from North American Commission of on Stratigraphic Nomuclature, 1983, North Americans Stratigraphic Code, Fig. 2, page 857, AAPG Bulletin, Vol. 67, No. 5).

التتابعات الرسوبية (Depositional Sequences) :

أستخدم مصطلح التتابع (Sequence) إستخداما غير رسمي للتعبير عن أي تجمع للطبقـات أو للتعبير عن التعاقب (Succession) . كما انحصر معنى المصطلح في نطاق ضيق لتعريـف الوحدات الطباقية الواضحة التي يحدها غالبا أسطح عدم توافق. وقد اعتـبر سـلوس (Sloss) التتابعات وحدات طباقية على المستوى بين الأقاليم يحدها أسطح عـدم توافـق بيـن إقليميـة (Interregional Unconformities) . أمـا متشـوم (Mitchum) وفيـل (Vail) وثومبسـون (Thompson) فقد عرفوا التتابع الرسوبي (Depositional Sequence) على أنه:

"وحـدة طباقيـة تتكـون مـن تعاقب متوافـق لطبقات ذات منشأ واحـد يحـدها مـن قاعدتها وقمتها أسطـح عـدم توافـق أو سـطح توافـق مرتبطـة بعلاقـة متبادلـة (Correlative Conformities)" (شكل ٥٢).



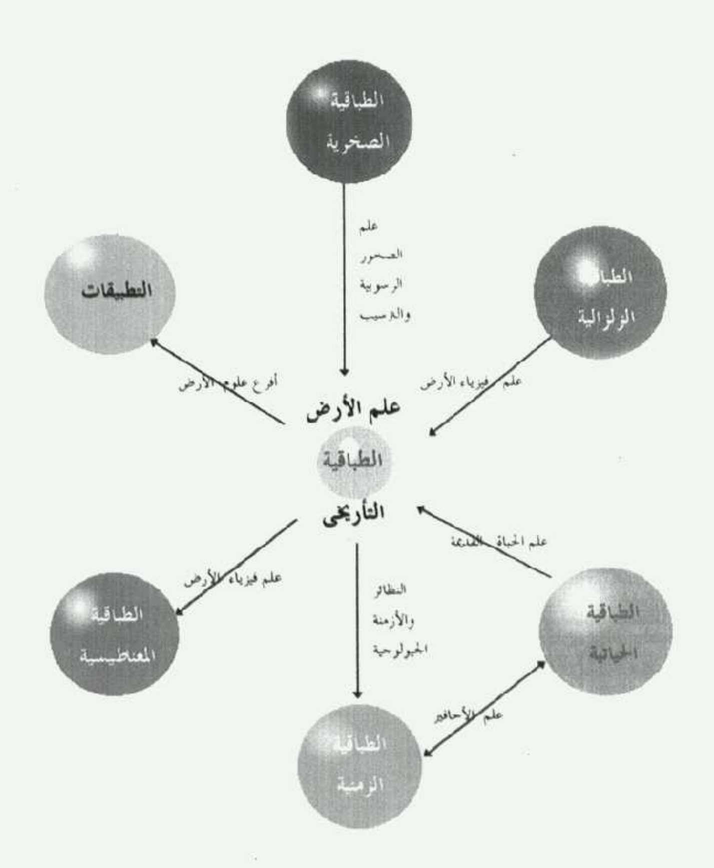
شكل (٥٢) توضيح فكرة التتابعات الرسوبية. يتكون التتابع الرسوبي من طبقـات متوافقة نسـبيا يحدها سطحان من أسطح عدم التوافق من القـاع (أ) ومن القمة (ب) عدم توافق ، وتمـر جانبيـا إلى أسطح توافق مرتبطة بعلاقات متبادلة.

(Modified from Mitchum, Vail and Thompson III, 1977).

الفصل التاسع

مبادئ التسمية والتصنيف الطِباقي

• المرشد الطِباقي العالمي • القانون الطِباقي لأمريكا الشمالية • تعريف الوحدة الطِباقية • القطاع الطِرازأو النموذج • خطوات وصف وحدة طِباقية جديدة • إقرار وملائمة الوحدات الطِباقية الرسمية • العلامة الذهبية • نموذج عالمي للحدود الطِباقية .



التسمية والتصنيف الطباقي
Stratigraphic Classification and Nomencltute

القانون الطباقي هو مجموعة قوانين مرتبة حسب نظام معين، أو مجموعة من القواعد والمبادئ لتسمية وتقسيم ووصف الوحدات الطباقية، علماً بأنه لايوجد تنظيم عالمي واحد كما لاتوجد هيئة عالمية منظمة للتسمية الطِباقية على غِرَار اللجنة العالمية للتسمية الحيوانية (International Commission on Zoological Nomenclature). كما أنه لا توجد مجموعة قوانين واحدة للتسمية الطباقية على غرار **"القانون"** العالمي للتسمية الحيوانية (International Code of Zoological Nomenclature)، بل توجد مبادئ عديدة تختلف بإختلاف الأمم والأقاليم، ولا تتفق جميعها فيما بينها. فعلى سبيل المثال لا الحصر هناك المرشد الطباقي العالمي (International Stratigraphic Guide) الذي تفضلت بوضعه اللجنة الفرعية العالمية للتصنيف الطبقي [The International Subcommission on Stratigraphic Classification (ISSC)] المنبثقة من اللجنة العالمية للطباقية [International Commission on Stratigraphy (ICS)] التابعة للإتحاد العالمي لعلوم الأرض [International Union of Geological Sciences (IUGS)]. ويطلق لفظ المرشد Guide بإختصار ليعبر عن المرشد العالمي، وهو مرشد للتصنيف والمصطلحات والطرق الطباقية. ويوجد في أمريكا الشمالية مثال آخر وهو القانون الطباقي أو مجموعة التواعد الطباقية لأمريكا الشمالية (North American Stratigraphic Code) **(جدول ١١).**

المرشد الطباقي

نورد في النقاط الآتية بعض الحقائق المتعلقة بالمرشد :

١ - ليس للمرشد سلطة رسمية أو غير رسمية في مسائل التصنيف الطباقي والمصطلحات وطرق الطباقية وتنحصر مهمته في التعريف والاقتراح والتوصية.

٢ - يهدف المرشد إلى الوصول إلى إتفاق عالمي حول مبادئ التصنيف الطباقي والعمل على تحقيق قبول عالمي عام للمصطلحات الطباقية وقواعد الطباقية.

٣ - لا يحاول المرشد الادعاء وبالشمولية ففي الوقت الذي يذكر أن الصخور يمكن تصنيفها بطرق عديدة نجده يناقش وحدات الطباقية الزمنية والطباقية المغناطيسية والطباقية القطبية ووحدات الطباقية المحصورة بين أسطح عدم التوافق.

٤ – يمثل المرشد عدد من التوصيات الأساسية التي تتعلق بمبادئ التصنيف الطبـــاقي، وتعريفات لعدد من المصطلحات المحددة، وطرق وتسـميات ومراجعــة الوحـــدات الطباقية، وأفكار عن القطاعات النموذجية.

جدول (١١) : أوجه المقارنة بين المرشد والكود.

وجه المقارنة	المرشد	الكود الطباقي لأمريكا الشمالية
الصبغة القانونية	لم يرق المرشد إلى الوثيقة القانونية.	وثيقة قانونية في أمريكا الشمالية.
التوصيات	غير ملزمة.	ملزمة الإتباع بالنسبة للمؤسسات الجيولوجية، المساحة الجيولوجية والمسحية.
المحتوى	يوجد به بعض الوحدات ليس لها نظير في الكود الأمريكي الشمالي مثل وحدات الطباقية المحصورة بين عدم التوافق.	بعض الوحدات المذكورة هنا غير موجودة في المرشد، مثل طباقية التربة، والطباقية المحدد بأسطح عدم توافق، والوحدات مختلفة أو متعددة الأزمنة.

تعريف الوحدة الطباقية بين المرشد ومجموع القواعد الأمريكية

أ – **في القانون الأمريكي :** الوحدة الطباقية الصخرية تتكون من الصخـــور الرســـوبية والنارية والمتحولة، وعادة تستجيب الوحدات لمبدأ التعاقب.

ب – **المرشد :** الوحدة الطباقية تتكون من صخور رسوبية أو متحولة أو نارية أو تجمع بين إثنين منهم أو أكثر منهما، والتي يمكن تصنيفها ضمن الطباقية الصخرية ، ولا يُتطلب أن يطبق عليها مبدأ التعاقب. ويبين الجدول (١٢) الوحدات الطباقية المعرفة في مجموعة القواعد (أو القوانين) لأمريكا الشمالية.

ومن الجدير بالذكر أن الطباقية الحجرية (Lithostratigraphy) تكتسب قوة في أمريكـــا، بينما تستخدم الوحدات الطباقية الحياتية (Biostratigraphy) على نطاق واسع في أوروبا مـــن منطلق أن الطباقية الحجرية لازمة من لوازم الطباقية. أما العلمـــاء الـــروس فـــلا يُعرّفـــون الوحدات الطباقية الحجرية أصلاً.

الوحدات الطباقية الحجريـــة (Lithostratigraphic Units) تعــرف أساســاً **بالشــواهد الصخرية المدعمة بوضع طباقي وشواهد مرئية في الحقل.** ومن الطبيعي أن تظهر الوحـــدة الطباقية الحجرية درجة من التجانس الحجري.

مجموعة القواعد الطباقية لأمريكا الشمالية

جدول (١٢) : تقسيمات ورتب الوحدات الطباقية (أ ، ب) في مجموعة القواعد لأمريكا الشمالية عام ١٩٨٣.

أ- وحدات مادية (Material Units) :

الأوطباقية Allostratigrapic	طباقية التربة Pedostratig-raphy	الطباقية الحياتية Biostratigraphy	الطباقية القطبية Magnetopolarity	الطباقية الليثوديمية Lithodemic	الطباقية الصخرية Lithostratigraphic
المجموعة العرضية (Allogroup) التكوين العرضي (Alloformation) العضو العرضي (Allomember)	وحدة تربة الأرض (Gesol)	النطاق الحيوي (Biozone) (الفترة، الصحبة أو الوفرة) (Interval, Assemblage or Abundance) تحت النطاق الحيوي (Subzone)	فوق نطاق القطبية (Polarity Superzone) نطاق القطبية (Polarity Zone) تحت نطاق القطبية (Polarity Subzone)	فوق نسق ((Supersuite) نسق (Suite) ليثوديم (Lithodem)	فوق مجموعة (Supergroup) مجموعة (Group) تكوين (Formation) عضو (أو عدسات أو لسان) [Member (or Lens or, Tongue)] طبقة (طبقات) أو فيض (فيوضات) [Bed(s) or Flow(s)]

ب- الأزمنة ووحدات الطباقية الزمنية (Temporal and Related Chronostratigraphic Units) :

مختلفة التقويم	أزمنة القطبية (Polarity Chronologic)	الطباقية الزمنية (Polarity Chronostratigraphic)	الأزمنة الجيولوجية (Geochronologic (Geochronohetric)	الطباقية الزمنية (Chronostratigraphic)
مختلف التـــوقيت (Diachron) فترة (Episode) طور (Phase) لحظة (Span) برهة (Cline)	فوق زمن القطبية (Polarity Super Chron) زمن القطبية (Polarity Chron) تحت زمن القطبية (Polarity Sub-Chron)	فوق نطاق زمن القطبية (Polarity Super Chronozone) نطاق زمن القطبية (Polarity Chronozone) تحت نطاق زمن القطبية (Polarity Sub-Chronozone)	الزمان (Eon) حقب (Era) (فوق عصر)(Superperiod) عصر (Period) (تحت عصر) (Subperiod) عهد (Epoch) عمر (Age) (تحت عمر) (Subage) زمن (Chron)	الزمان الصخري (Eonothem) حقب الصخر (Erathem) (فوق نظام) (Supersystem) نظام (System) (تحت نظام) (Subsystem) نسق (Series) مرحلة (Stage) (تحت مرحلة) (Substage) نطاق زمني (Chronozone)

وتوضع الحـــدود بين الوحـــدات الطباقية الحجريـــة عنـــد التغيرات الحـــادة في الـــتركيب الحجري. أما في حالـــة وجـــود نطاق تـــدرج بين وحدتين فيمكن إعتباره وحدة ثالثة مســـتقلة عن الوحدتين (شكل ٥١) ، وإن كان المرشـــد لا يعتبرهـــا وحـــدة رسميـــة.

القطـــاع النمـــوذجي أو النوعي (Stratotype or Type Section) :

يلزم لتأكيد الوحدات الطباقية، خاصة الطباقية الصخريـــة (Lithostratigraphy) ووحـــدات الطباقية الزمنية (Chronostratigraphic Units) قطاع نموذجـــي أو طـــراز (Stratotype) أو قطاع نوعي (Type-Section).

تعريف القطاع النموذجي : وفقاً للمرشد الطباقي العالمي يعرف القطاع النموذجي (Stratotype) على أنه قطاع نوعي (Type-Section) معرف أصلاً عند تشييد الوحدة الطباقية أو الحد الطباقي أو قد يعرف لاحقاً بعد تشييدها ويمثل فترة خاصة أو حد خاص في تعاقب خاص لطبقات الصخور. ويمثل القطاع النموذجي مقياساً (Standard) يستدل به عند تعريف وتمييز الوحدة الطباقية أو الحد الطباقي.

صور القطاع النموذجي: يمكن تمييز ثلاثة صور للقطاع النموذجي هي :

أ – **القطاع النموذجي الوحدة (A Unit Stratotype)** : وحدة القطاع النموذجي الوحدة هي قطاع الطبقات الذي يوضح محتواها والحدين العلوي والسفلي لوحدة طباقية محددة وهو عادة ما يمثل قطاعاً مثالياً من حيث أنه يمثل قطاعاً كاملاً للوحدة الطباقية قيد الإهتمام، حيث يظهر به الحد السفلي للوحدة والطبقات أسفله والحد العلوي والطبقات التي تعلوه وأيضاً الطبقات الموجودة بين السطحين العلوي والسفلي (شكل ٥٣–أ).

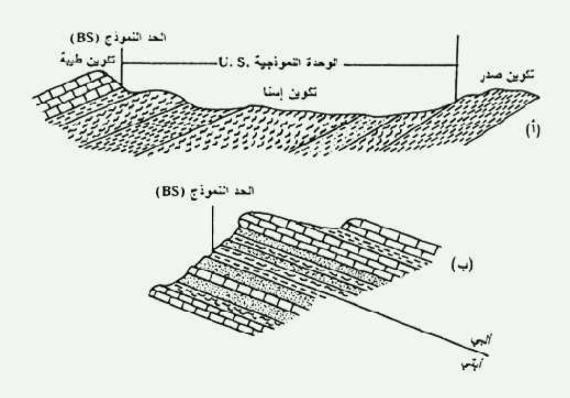
ب – **قطاع الحدود النموذجي (Boundary Stratotype)** : هي نقطة محددة في تتابع طبقات الصخر وليس من الضروري أن تكون في منطقة القطاع النموذجي وكل قطاع حدود نموذجي يمثل مرجعاً تُحدد وتُميز على أساسه قاعدة الوحدة الطباقية. أما قمة الوحدة الطباقية فيمكن أن يحدده قطاع الحدود النموذجي للوحدة التي تعلوها (شكل ٥٣–ب).

جـ– **القطاعات النموذجية المركبة (Composite Stratotype)** : حيث لا تتكشف الوحدة الطباقية في قطاع واحد بل في عدة قطاعات ، فإن القطاع النموذجي للوحدة يتكون من دمج عدة قطاعات مرجعية (من الممكن أن تتضمن القطاع النموذجي) وتعرف بالطرز المجمعة (Composite Stratotypes). وقد أشار المرشد الطباقي العالمي إلى إستخدام بعض المصطلحات تسبق كلمة الطراز (Stratotype) لتعبر عن أنواع الطراز مثل الأصلي أو الكامل (Holo) ، والمساعد Para، والمعرف لاحقاً (Lecto)، والبديل (Neo)، والبعيد جغرافياً (Hypo). ونورد تعريفات مختصرة لهذه القطاعات النموذجية فيما يلي :

النموذج الكامل (Holostratotype) النموذج الأصلي الذي حدده المؤلف أو المؤلفون الأوائل.

القطاع النموذجي المساعد (Parastratotype) : وهو نموذج مساعد إختاره المؤلفون الأصليون في النشرة الأصلية عند تشييد الوحدة الجديدة أو الحد الطباقي.

القطاع النموذجي اللاحق (Lectostratotype) : وهو قطاع قد وقع الإختيار عليه بعد إقرار الوحدة الطباقية أو الحد الطباقي في حالة عدم وجود نموذج أصلي.



شكل (٥٣) : رسم تخطيطي للقطاع الطراز أو النموذج

أ- وحدات طباقية حجرية : تكوينات صدر وإسنا وطيبة ب- وحدتان طباقيتان زمنيتان ألبي وأبتي.

US = Unit Stratotype , BS = Boundary Stratotype

(أ- عن عياد وحمامة ١٩٨٩م ب- عن حجاب وحمامة وعطية ١٩٨٩م)

القطاع النموذجي البديل (Neostratotype) : وهو قطاع جديد إختير ليحل محل النموذج الأصلي في حالة إزالة النموذج الكامل.

القطاع النموذجي البعيد أو المختلف جغرافياً (Hypostratotype) : وهو قطاع نموذجي مرجعي يختار بعد إقرار الوحدة أو الحد الطباقي، وعادة ما يقع في منطقة جغرافية بعيدة أو يمثل سحنة مختلفة .

وقد أثارت القطاعات النموذجية جدلاً كبيراً بين المشتغلين بالطباقية ، فمنهم من يرى أنه لا يوجد ما يعرف بالقطاع المثالي ، ومنهم من يرى أنه بلا نفع. وأيضاً هناك من يرى أنه لكي تقوم القطاعات النموذجية بوظيفتها كمراجع عالمية للوحدات الطباقية فإن من اللازم تيسير الحصول على المعلومات حول القطاعات النموذجية في صورة منشورات متعلقة بكافة خصائص القطاعات النموذجية، كما يجب أن يسمح لأي مشتغل بالطباقية بزيارة القطاع النموذجي في أي وقت بغض النظر عن الإختلافات السياسية والعقائدية وغيرها.

خطوات وصف وحدة طباقية جديدة

يلزم لوصف الوحدة الطباقية الجديدة العديد من الخطوات التي نوجزها في الآتي :

١ - الرغبة المعلنة عن إقتراح وحدة جديدة.

٢ - الإعلان عن نوع ورتبة الوحدة الجديدة.

٣ – النص على إسم الوحدة الطباقية مع ذكر أصل إشتقاق التسمية.

٤ – إلقاء نظرة تاريخية حول تاريخ تصنيف الوحدة.

٥ – تحديد نموذج أو طراز الوحدة ووصفه بدقة متناهية وتحدد القطاعات النموذجية لحدود الوحدة.

٦ – وصف الوحدة متضمناً أوجه الوصف المختلفة مثل التركيب الصخري ، والأحافير ، والسُمك والوضع البِنائي، والمتكشفات ومعالم السطح، وعلاقاتها بالصخور الأخرى، وكذلك الخواص الفيزيائية، وعمر الوحدة.... إلخ.

٧ – النواحي الإقليمية وإمتداد الوحدة وعلاقاتها بالظواهر المجاورة.

٨ – أصل الوحدة متضمنة ظروف تكوينها وبيئتها القديمة وغيرها.

٩ – المضاهاة مع الوحدات الأخرى.

١٠– العمر الجيولوجي.

١١– المراجع.

إقرار وملاءمة الوحدات الطباقية الرسمية

يجب أن تقام الوحدة الصخرية على أسس قوية وليست إعتباطية. وحتى الوحدات المشيدة على أسس سليمة تظل غير ثابتة حتى يستخدمها الآخرون، وقد تتطلب الوحدة الطباقية إعادة تعريفها (Redefinition) ، أو مراجعتها (Revision) أو إلغائها (Abandonment). وهنا يلزم تعريف تلك المصطلحات بدقة في هذا المجال:

إعادة التعريف : تعني تغيير وجهة النظر أو الصياغة حول محتوى الوحدة دون أن تتغير حدود أو رتبة الوحدة. ولكنها تختلف قليلاً عند إعادة وصفها كما في حالة الوحدة الطباقية الحجرية التي وصفت على أنها تتكون من مارل ثم إتضح بعد ذلك أنها تتكون فعلاً من الحجر الجيري. والجدير بالذكر أن الذي أعيد تعريفه هو نفس الصخر المتوضع أو المتكشف من قبل وإنْ تغير إسمه ونوعه.

المراجعة (Revision) : تشمل المراجعة إحداث تغيرات طفيفة في تعريف أحد الحدين أو كليهما أو تغيير إسم الوحدة. ويجب ملاحظة أن ما يتطلب لمراجعة أو نقد الوحدة الطباقية يساوي ما يلزم لتأكيد وحدة جديدة.

إلغاء الوحدة الطباقية : يحتاج إلغاء الوحدة الطباقية إلى مستندات تفوق ما يلزم لتشييد وحدة جديدة. ومن أسباب إلغاء الوحدة عدم إستخدامها أو ما قد يثيره إستخدامها من تعارض، أو وجود مرادف لها، أو عدم وضعها في مرتبة ملائمة. وفي هذا المقام توضع الأسبقية في

الإعتبار ، ولكنها ليست سيفاً مسلطاً يمنع من إلغاء الوحدة، ولكن الأهم هو مدى فائدة وأهمية الوحدة. وفي جميع الحالات ، لا يجب التضحية بإلغاء وحدة طباقية قديمة مقابل إستحداث إسم مغمور غير شائع الاستخدام.

وقد يتطلب الأمر وضع الوحدة الطباقية في صورة محورة كما في الحالات التي يصعب فيها إتخاذ قرار بضم مجموعة من الصخور أو الطبقات إلى هذه الوحدة أو تلك. ومن أمثلة ذلك استخدام علامات الإستفهام عند كتابة أسماء الوحدات الطباقية الصخرية مثل تكوين دمّلم؟ (Dammam ? Formation) وتكوين رس–دمّام (Rus-Dammam Formation) في حالة إذا ماكانت الصخور في الحالة الأولى يصعب إلحاقها بتكوين دمّام وفي الحالة الثانية تكون هوية الصخور موزعة بين تكويني رس دمّام.

وتنطبق نفس الحالة على وحدات الطباقية الزمنية فعلى سبيل المثال وحدة الكمبرو–أوردوفيشي (Cambro-Ordovician) تضم جزءاً من الصخور تابعة للكمبري وأجزاء أخرى تابعة للأوردوفيشي. وكذلك في وحدة برمو–ترياسي (Permo-Triassic) التي تنتمي إلى البرمي والترياسي معاً.

الحدود الفاصلة بين الوحدات الطباقية الزمنية (Chronostratigraphic-Boundaries) أو العلامة الذهبية (Golden Spike) :

ماتزال حدود أزمنة الطباقية (Chronostratigraphic Boundaries) التي على أساسها تُحدد بدقة الحدود بين العصور مشكلة تنتظر الحل. وتعرف النقط الواضحة في القطاع المرجعي بالعلامة "الذهبية" "Golden Spike". فعلى سبيل المثال ، فإنه بالنسبة للحد الفاصل بين عصري السيلوري والديفوني فقد أختيرت النقطة والقطاع النموذجي للحد العالمي [Global Boundary Stratotype Section And Point (GPSSP)] في مكان يسمى كلونك (Klonk) قرب ساشاماستي في تشيكوسلوفاكيا، وذلك في الطبقة رقم ٢٠ حيث يبدأ الديفوني بالظهور المفاجئ لنوع من الْخَطِّيات المسمى (*Monograptus uniformis*) وتحت نوع من الْخَطِّيات أيضاً يسمى (*Monograptus uniformis angustidens*). وهذا الحد ليس ظاهرة طبيعية تنتظر من يكشف عنها اللثام ولكنها اختيار من صنع البشر.

نموذج عالمي للحدود الطباقية (Global Boundary Stratotype):

يهدف إختيار هذه النماذج إلى وضع حدود الأنظمة والنسق والمراحل على مستوى العالم أجمع، حيث يتم دراسة قطاعات محددة توضح الحدود الطباقية ، وبعد الوصول إلى قناعات

محددة يتم أخذ الأصوات وفى حالة الحصول على موافقة ٦٠% من الأصوات علـــى إختيـــار قطاع نمـــــــــــــوذج ونقطة الحـــــــد يحال الموضوع إلـــى اللجنـــة العالمـــــــــــية للطباقـــــــــية [International Commission on Stratigraphy (ICS)] لإقراره، حيث يلـزم الحصول على ٥١% من الأصوات. وأخيراً تقوم هذه اللجنة بإبلاغ نتيجة ما إنتهت إليه حـــول تعريف الحدود الطباقية إلـــى الإتحـــاد العـــالمي لعلـــوم الأرض [International Union of Geological Sciences (IUGS)] ونتيجة لهذه الجهود فقد تم إقرار الحـــدود العالميـــة للحـــدود الطباقية الزمنية بين كل من الأوردوفيشي والسيلوري، والســـيلوري والديفونـــي، والبليوســـين والبليستوسين، وأيضاً حدود نسق كل من نظامي السيلوري والديفوني.

ووفقاً لتوجيهات اللجنة العالمية للطباقية فإن القطاع النموذج :

١ – يجب أنّ يتميز بإستمرارية في الترسيب ويفضل أن يكون التتابع قد تكون في البحار دون حدوث أي تغير في السحنة.

٢ – هذا بالإضافة إلى أن القطاع المقترح يجب أن يتكشف بوضوح في أكثر من مكـــان ويظهر أيضاً سمكاً معقولاً فوق وتحت وعلى إمتداد القطاعات النموذجيـــة للحـــدود والنقطة العالمية (GSSP).

٣ – يجب أن يحوي القطاع مجموعة وفيرة ومتنوعة من الأحافير جيدة الحفظ ويفضـــل طبعاً الأحافير المميزة لنطاق الصحبة (Assemblage Zone).

٤ – يجب أن يكون (GSSP) المقترح خالياً من البُنيات المعقدة والتحول الشديد.

٥ – يجب أن يكون القطاع المقترح بقدر الإمكان خالياً من وجود عدم التوافق بأنواعـــه المختلفة أو أي إنقطاعات في أزمنة الترسيب.

٦ – وأخيراً فإن أي (GSSP) مقترح يجب أن يكون ملائماً لإجراء الدراســـات الخاصـــة بالطباقية المغناطيسية وتقدير الأعمار بالسنين.

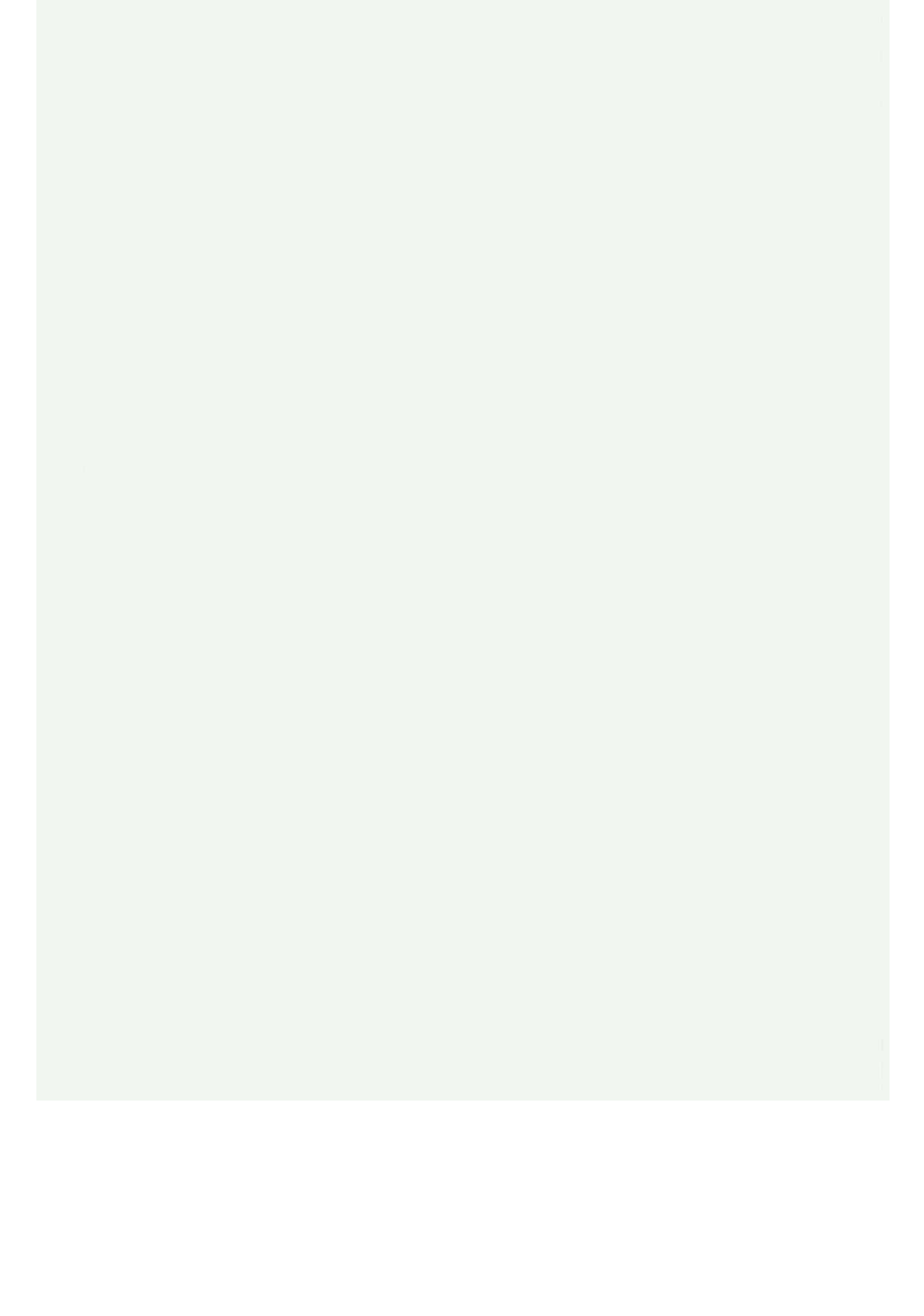
وتحدد نقطة واضحة تمثل لحظة مولد الزمن الطباقي العالمي بعلامة محددة.

الفصل العاشر
الطِباقية الصخرية
والمضاهاة الفيزيائية

• تعريف • متطلبات تلزم لتأكيد الوحدة الطِباقية الحجرية • رتب وحدات الطِباقية الحجرية • التسميات الرسمية لوحدات الطِباقية الحجرية وملحقاتها • طِباقية الآثار • طِباقية القمر • المضاهاة الفيزيائية • أهمية المضاهاة • مشاكل المضاهاة • طرق المضاهاة الفيزيائية • تطبيقات.



صورة تمثل قاعدة متكون الدام المتكشف على الجانب الشرقي لحزم المثعبية جنوب شرق دولة قطر. (صورة إلْتُقطت بواسطة المؤلف).



طبقات الأرض الحجرية
أو الطِباقية الحجرية
(Lithostratigraphy)

الطباقية الحجرية (Lithostratigraphy) تمثل إحدى أنواع الطباقية التـــي تعـــالج أساســاً التتابعات الحجرية المحلية وتقسيمها إلى وحدات حجرية (Lithostratigraphic Units) مختلفة.

تعريف

الوحدة الطباقية الحجرية : هي جسم صخري رســــوبي، أو نـــاري سطحـــي (Extrusive)، أو رواســب متحولـــة (Metasediments) أو بركانيـــات متحولـــة (Metavolcanics) يمكن تمييزها إعتماداً على الخصائص الحجرية والوضع الطباقي وعادة مـــا تستجيب الوحدة الطباقية الحجرية إلى قانون التعاقب (Law of Superposition) وهي عادة ، ما تكون في صورة متطبقة (Stratified) وذات شكل صفائحي.

وهي تعتمد أساساً على حجرية الصخر. والحجرية (Lithology) مصطلح يستخدم لدراســة ووصف الخواص الطبيعية للصخور خاصة في صخور المتكشـــفات الســطحية (Exposures). والمصطلح بجانب أنه وصفي فهو أيضاً يستخدم كمسمى للصفة ذاتها فلون الصخر صفة حجريــة وكذلك نوعه وتركيبه المعدني وحجم حباته ونسيجه وما إلى ذلك من الصفـــات. وقـــد يســتخدم مصطلح الطباقية الفيزيائية أحياناً بدلاً من مصطلح الطباقية الحجرية.

ووحدات الطباقية الحجرية تفيد جيداً في رسم الخرائط الأرضيـــة (Geological Mapping) (خاصة التكوين) وتستخدم كأساس لتحديد الطبقات والبُنية الإقليمية والمحلية والموارد الإقتصادية ودراسة التاريخ الأرضي للأقاليم التي تتكون من صخور متطبقة.

متطلبات تأكيد الوحدة الطباقية الحجرية

لتأكيد الوحدة الحجرية يجب توفر معلومات عن :

١ – القطاع النموذجي (Stratotype or Type Section).

٢ – منطقة القطاع النموذجي (Type Locality).

٣ – سمك الوحـــدة الطباقيـــة الحجريـــة والتغيرات الجانبيـــة وعلاقـــة الوحـــدة الحجريـــة بغيرهـــا من الوحـــدات.

٤ – الإستمرارية الجانبية للوحدة الطباقية الحجرية.

رتب وحدات الطباقية الصخرية (Hierarchy of Lithostratigraphic Units)

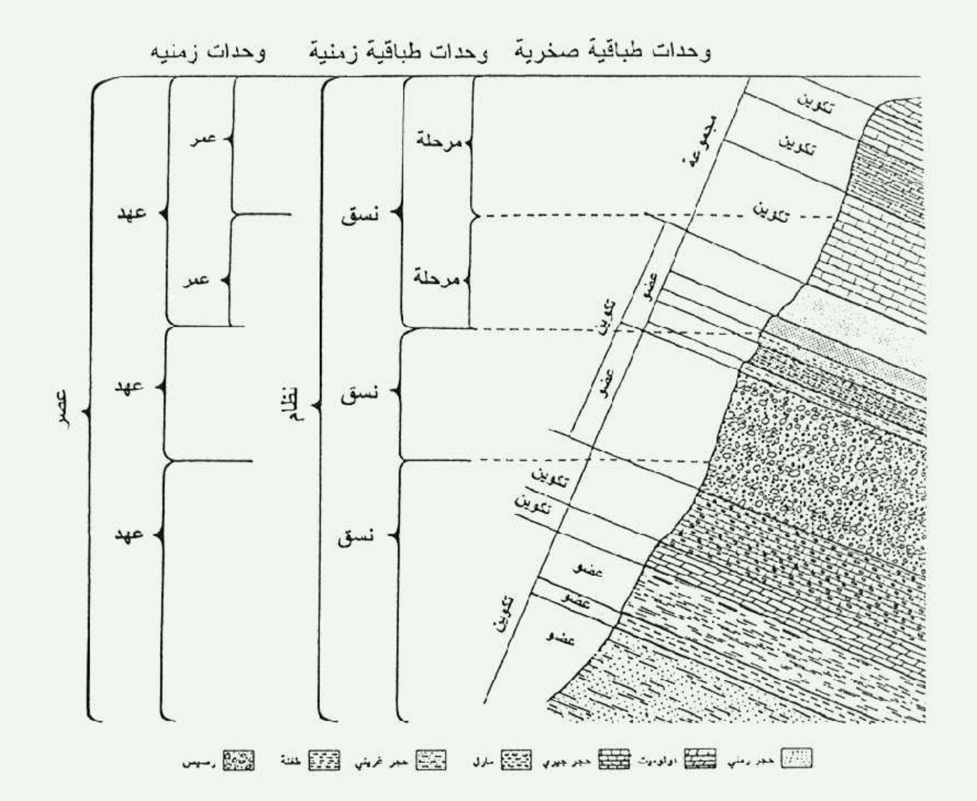
فـوق المجموعـة	(Supergroup).
مجـمـوعـة	(Group).
تكـويـن	(Formation).
عضـو	(Member).
طبقـة أو فيـض	(Bed or Flow).

الوحدات السابقة هن الوحدات الرسمية (Formal Units) للطباقية الحجرية ، حيث تمثل فـوق المجموعة أعلى مرتبة بين الوحدات (شكل ٥٤). ولما كان التكوين هو الوحدة الرئيســية فـي تقسيم الطباقية الحجرية فسوف نبدأ به.

التكوين(Formation) **:**يمثل التكوين الوحدة الأساسية في تقسيم الطباقية الحجرية، ويُعرف على أنه جسم صخري **يتميز بصفات حجرية** (Lithic Characteristics) **ووضع طباقي** (Stratigraphic Position). والتكوين يجب أن يكون **قابلاً للتخريط** (Mappable) في المكاشف السطحية، ويمكن تتبعه تحت السطح (Subsurface). وفيما يلي نورد بعض الملاحظات الخاصة بالتكوين :

١ – **درجة التجانس :** يجب أنْ يُظْهِر التكويـن درجـة مـن التجـانس الحجـري الداخلـي أو شواهد حجرية واضحة ، فقد يُحدد على أساس سـيادة صفـة حجريـة واحـدة فـي التكوين أو على أساس تكرار صفتيـن صخريتيـن أو أكـثر، أو حتـى علـى أسـاس عدم التجانس الليثولوجي في حالة إذا ما كانت ظاهرة عـدم التجـانس فـي حـد ذاتـها تمثل وحدةً قائمة بذاتها عند مقارنتها بـالوحدات المجـاورة.

٢ – **السَمك وقابلية التخريط الأرضي :** تجدر الإشارة إلـى أن التكويـن ليـس لـه سُـمْك قياسي ، فعلى حين أن بعض التكوينات يقل سـمكها عـن متـر واحـد فـإن البعـض الآخر يصل سمكها إلى عـدة آلاف مـن الأمتـار. وعنـد رسـم الخرائـط الأرضيـة لمنطقة ما غالباً ما نستخدم التكوينـات ذات السُـمْك الكبـير فـي الخرائـط الإقليميـة، ولكن عند إجراء الدراسات التفصيلية يمكن رفـع رتبـة الوحـدة الحجريـة. وعمومـاً يمكن القول أن التكويـن لا يعـد مؤكـداً مـا لـم يظـهر علـى الخرائـط الأرضيـة (Geologic Maps) ذات مقيـاس الرسـم المناسـب المسـتخدم عـادةً فـي رسـم الخرائط الأرضية لمنطقة الدراسـة.



شكل (٥٤) يوضح الوحدات الطباقية الحجرية والمتضمنة المجموعة والتكوين والعضو (إلى اليمين) والوحدات الطباقية الزمنية (في الوسط) وتتضمن النظام والـنسق والمرحلة ، ثم وحدات الزمن الأرضي متضمنة العصر والعهد والعمر (إلى اليسار).

(Modified from Spencer, page 31, Fig. 2-6, 1962 by Thomas Y. Crowell Company).

٣ – **الصفات الحجرية المميزة للتكوين :** تشمل الصفات الحجرية التركيب الكيميائي والمعدني، النسيج، اللون، البنية الأولية للصخور الرسوبية، المحتوى العضوي والمحتوى الأحفوري. ونعني بالأخير الحالات التي تُكَوِّن فيها الأحافير طبقاتٍ حجرية كليةً مثل طبقة الأُستريا (*Ostrea* Bed) ، وطبقة الكوكينا (Coquina Bed)، أو طبقات فحم (Coal Beds) ، أو الكتل الحجرية مثل الشِّعاب المرجانية . هذا بالإضافة إلى الصفات الكهربية (Electric) والزلزالية (Seismic) والإشعاعية (Radioactive).

٤ – **حدود التكوين (Contacts)** : ترسم حدود التكوين حيثما يوجد تغـــير واضــح فـــي التركيب الحجري مثل تغير الحجر الجيري في قطاع ما إلى حجر رملي أو طفلــة، أو حيث يتغير الحجر الرملي إلى رواهص (Conglomerates). وحدود التكوين يمكن أن توضع أيضاً على أساس طبقات دالة (Key Beds) أو طبقات دليلية ممـــيزة (Marker Beds) موجودة في نسق إنتقالي من تركيب الصخــر ، مثــل نطـــاق واضـــح مــن الرواهص في وسط تتابع من الحجر الرملي أو عند طبقة حجـــر جـــيري واضحـــة تفصل مثلاً الحجر الجيري الرملي (Sandy Limestone) عن الحجر الرملي الكلســـي (Calcareous Sandstone).

٥ – **النموذج** : يلزم تحديد المنطقة التي درس فيها التكوين لأول مـــرة (Type Locality) وأيضاً القطاع النوعي (Type Section).

العضو (Member): يمثل وحدة طباقية حجرية تلي التكوين في المرتبة ، وهي دائماً تمثــل جزءاً من التكوين الذي قد يقسم كلياً أو جزئياً إلى أعضاء في حالة إمتداد الوحدة عبر مضـــرب الطبقات أو إلى عدسات (Lenses) تختفي في جميع الإتجاهات داخــل التكويــن أو إلـــى لســـان (Tongue) وهو عبارة عن عضو وتدي الشكل يمتد فيما وراء حدود التكوين أو يســـتدق ممتـــداً داخل حدود تكوين مجاور.

وكما في حالة التكوين فإن العضو ليس له سمك قياسي. ولكن ليس من الضروري أن يكـون العضو قابلاً للتخريط الأرضي.

الطبقة(Bed): تمثل الطبقة أدنى رتبة من رتب الطباقية الحجرية الرســـمية. والطبقـــات تقسيمات للأعضاء بينما الطفح (Flow) هو أقل وحدات الطباقية الحجرية للطفوح البركانية.

والطبقة أو الطبقات كوحدة طباقية حجرية يجب حصر إطلاقها على طبقـــات ممـــيزة ذات أهمية خاصة مثل طبقات الفحم (Coal Beds) ، رمال النفـــط (Oil Sands) ، وغيرهـــا مـــن الطبقات ذات الأهمية الإقتصادية. ونذكر أيضاً أن الطبقة الدليلية الممـــيزة (Marker Bed) أو الطبقة الدليل (Key Bed) هي طبقة رقيقة مميزة تمتد إمتداداً جانبياً.

المجموعة(Group) :تمثل المجموعة الرتبة الأعلى من التكوين، وتتكون من تكوينـــات وإن كان ليس من الضروري تميزها إلى تكوينات بل من فترات حجرية لم تقسم بعد إلـــى وحـــدات رسمية، وفي هذه الحالة يفضل أن توضع في مرتبة التكوين.

والتكوينات المكونة للمجموعة يمكن أن تختلف من منطقة إلى أخرى. وليس من الـــلازم أن يكون للمجموعة نموذج، بل تعتبر التكوينات المكونة للمجموعة هي نفسها نمـــاذج المجموعـــة. والمجموعات ذات العلاقة الوطيدة بعضها ببعض يمكن أن تكوِّن فوق مجموعة (Supergroup).

التسميات الرسمية لوحدات الطباقية الحجرية وملحقاتها

يجب أن تخضع تسمية الوحدات الطباقية الحجرية لعدة قواعد، نذكر **أهمها فيما يلي** :

١– يجب أن يكون الإسم مزدوجاً يتكون من إسم جغرافي وصفة **حجريـــة ممـــيزة**. وإســـم الصفة الحجرية يمكن أن يحل محلها مصطلح رتبة الوحدة فعلى سبيل **المثال في الحالة الأولـــى** نقول **أنهدريت الهيث** (Hith Anhydrite) بالنسبة لصخور **الجوري العلوي لشبه الجزيرة العربية**. وفي الحالة الثانية نقول تكوين الراحة (Raha Formation) **بالنسبة لصخور السنوماني في مصـــر** وتكوين رس (Rus Formation) بالنسبة لبعض صخور الإيوسين **الســـفلي فـــي شـــبه الجزيـــرة** العربية. وتجدر الإشارة أنه عند كتابة أسماء الوحدات الطباقية الرسمية **باللغات الأجنبية** يلـــزم أن يكون الحرف الأول من أسماء **الوحدات الأولى** كبيراً (Capital Letter).

نورد **فيما يلي** بعض الملاحظات الخاصة بكتابة الشق الجغرافي والشق الصخري للوحـــدات الحجرية الرسمية :

١ – يشتق الإسم الجغرافي من الظواهر التضاريسية (نهر، جبل، مدينة).

٢ – عـــدم تكرار الإسم الجغرافي في وحدتـــين مختلفتين في رتبتيهما وهـــذا التكرار يجـــب ألا يوجـــد في تقسيم الوحـــدة فـــلا يصح مثلا أن يشمل تكوين دمام على عضو يحمـــل إسم دمام.

٣ – لا يجـــوز كتابة الإسم الجغرافي بعـــد تأكيده وإستعمالـــه بأحـــــرف هجائيـــة تختلـــف عـــن أحرفـــه الأولى التي كتب بها ، ومع هذا فإنه في بعض الحالات يمكن التغـــاضي عن ذلك في حالـــة إذا ما أستخدم هجاء آخـــر لدرجة أنـــه صار شائعا.

٤– يبقى الإسم الجغرافي متداولا حتى وإن إختفت الظاهرة التي أشتق منها الإسم.

٥– عـــدم تغييـــر الإســـم الجغرافي إذا وجـــدت الوحـــدة الطباقيـــة ممتـــدة عـــبر الحـــدود السياسيـــة لـــدول متجاورة.

٦ – هناك صعوبة تكمن في تحديـــد مسمـــى الشـــق الجغرافـــي للوحـــدات الطباقيـــة الحجريـــة المتتبعة في الآبار تحت السطـــح في المياه الممتـــدة أمـــام الشواطئ.

٧ – يجب اختيار إسم الشق الجغرافي الأكثر مناسبة حتى لا يحدث من إستخدامه خلطاً عند سماعه. فمثلاً لا يفضل أن نطلق إسم تكوين مكة (Makkah Formation) على وحدة طباقية حجرية تقع في المدينة المنورة، بل يفضل أن نسميه مثلاً تكوين المدينة (The Madina Formation).

٨ – يجب أن يكون الإسم الجغرافي معروفاً جيداً وليس مغموراً.

٩ – الشِّق الصخري من التسمية يجب أن يكون بسيطاً معبراً عن التركيب الصخري السائد أو المميز ، فيفضل إستخدام الأسماء البسيطة مثل الحجر الجيري (Limestone) ، الطَّفْلة (Shale) والحجر الرملي (Sandstone) ، وليس من الشائع إستخدام الأسماء المركبة مثل الرمل والطين Sand and Clay والحجر الجيري والدولوميت (Limestone and Dolomite) بل يجب عدم إستخدام مثل هذه الأسماء المركبة. وكذلك لا يجب إستخدام صفة توضيحية مثل أسود أو أبيض كما في تسمية تكوين الحجر الرملي الأسود (Black Sandstone Formation).

جـ –إسم التكوين يمثل إسماً جغرافياً وصفة حجرية مثل طفلة إسنا (Esna Shale) أو يضاف إلى الشِّق الجغرافي كلمة تعبر عن رتبة الوحدة مثل تكوين ريسّان عنيزة (Risan Aneiza Formation).

د – إسم المجموعة يتكون من شِق جغرافي + كلمة مجموعة مثل مجموعة حواسنة (Hawasna Group) في سلْطَنة عُمان.

هـ – إسم العضو يتكون من شِق جغرافي + كلمة عضو وقد يضاف بين الإسمين إسماً ثالثاً يعبر عن صفةٍ حجرية مثل عضو طَفْلة مدرا (Midra Shale Member).

و – بالنسبة للطبقة أو الطبقات والطفح أو الطفوح تضاف هذه المسميات إلى الشَّق الجغرافي من الإسم.

ز – بالنسبة للِّشعاب التي تكون وحداتٍ طباقية حجرية فإنها لا تختلف عن أسماء التكوينات والأعضاء.

ح – في الوحدات غير الرسمية (Informal) مثل طبقات الفحم (Coal Beds) أو نُطُق تمعدن (Mineralized Zones) لا تبدأ كتابة الأسماء بأحرف كبيرة. ويلاحظ أن الإسم الجغرافي لا يتبعه مصطلحا تكوين أو مجموعة إلا في التسمية الرسمية.

ملحقات الطباقية الحجرية (Subdisciplines of Lithostratigraphy):

١ – **وحدات الصخور المتبلرة غير المتطبقة (Lithodemic Units)** : تتكون تلك الوحدات (جدول ١٣) أساساً من الصخور النارية المتداخلة أو شديدة التحول أو المشوهة والتي لا تستجيب لقانون التعاقب الطباقي. وتعرف أساساً بمحتواها الصخري، وتوضع حدودها سواءً الحادة أو الإنتقالية حيثما يحدث تغير للصخور، ووحدتها الرئيسية تقابل التكوين، ولا توجد وحدات أقل منها.

والوحدة الرئيسية في الصخور السابقة كما تعرفها مجموعة قوانين أمريكا الشمالية هي الوحدة الحجرية الصلدة غير المتطبقة (Lithodem) تتكون من صخور نارية متداخلة (Intrusive) أو صخور شديدة التحول (Highly metamorphic) وهي غير صفائحية تفتقر خاصية التطبق وهي متجانسة وقابلة للتخريط الأرضي (Geologic Mapping) ، وهي وحدات غير قابلة للتقسيم إلى وحدات أقل منها.

جدول (١٣) : رتب وحدات الصخور المتبلرة غير المتطبقة.

الوحدات الحجري الصلدة غير المتطبقة		الوحدات الطباقية الحجرية
فوق النسق (Supersuite)	المعقد (Complex)	فوق مجموعة (Supergroup)
النسق (Suite)		المجموعة (Group)
الوحـــدات الحجرية الصلدة غير المتطبقة (Lithodem)		التكوين (Formation)
		العضو (Member)
		الطبقة (Bed)

٣ – **الوحدات شبه الطباقية (غير الرسمية) (Parastratigraphic Units) :**

الوحدات شبه الطباقية هي وحدات طباقية غير رسمية إما لأنها لم تُسَمَ في الأصل بطريقة رسمية بالرغم من أنهن مستكملات لكافة متطلبات الوحدات الرسمية، أو لأنها بالرغم من عدم تجانسها تقع بين طبقتين دليليتين مميزتين.

وقد قسم كرومبين وسلوس (Krumbein and Sloss) عام ١٩٦٣م الوحدات شبه الطباقية إلى نوعين :

١ – وحدات شبه الطباقية تحدد على أساس خاصية أو مجموعة خواص مثل الوحدات المشيدة على أساس محتوى المعادن الثقيلة أو مجموعة العناصر النادرة.

٢ – وحدات شبه طباقية محددة على أساس طبقات دليلية مميزة (Marker-Defined Units)، والوحدات شبه الطباقية يمكن أن تكون تكوينات أو وحدات طباقية زمنية إستنادا إلى طبيعة الطبقات العلامة (شكل ٥٥).

الوحدات المحددة بأسطح عدم توافق والوحدات العرضية (Unconformity-Bounded and Allostratigraphic Units) :

هي وحدات طباقية يحدها من أسفل ومن أعلى عدم استمرارية (Discontinuities) وذلك في تتابعاتها الطباقية دون النظر إلى الأسباب التي توجد وراء عدم الاستمرارية والتي قد تكون على سبيل المثال عدم توافق زاو (Angular Unconformity) أو عدم توافق متقطع (Disconformity) ... الخ. ويفضل أن تتمتع تلك الوحدات بإمتداد إقليمي يغطي إمتداد أسطح عدم التوافق التي تحدها. وتتشابه هذه الوحدات تشابها كبيرا مع الوحدات الطباقية الحجرية في أنهم لا يعتمدون على أصل نشأتهم ولا التاريخ الأرضي لهم ويتبعان نفس قواعد الوصف والتسمية والتقسيم.

وتسمى وحدة تلك الطباقية المحصورة بين أسطح عدم التوافق بوحدة الطباقية المحصورة بأسطح عدم توافق (Synthem) وترتب وحدات ذلك النوع من الطباقية من أعلى رتبة إلى أدنى رتبة كالتالي :

١ – فوق وحدة الطباقية المحصورة المحددة بأسطح عدم توافق (Supersynthem).

٢ – وحدة الطباقية المحصورة المحددة بأسطح عدم توافق (Synthem).

٣ – تحت وحدة الطباقية المحصورة المحددة بأسطح عدم توافق (Subsynthem).

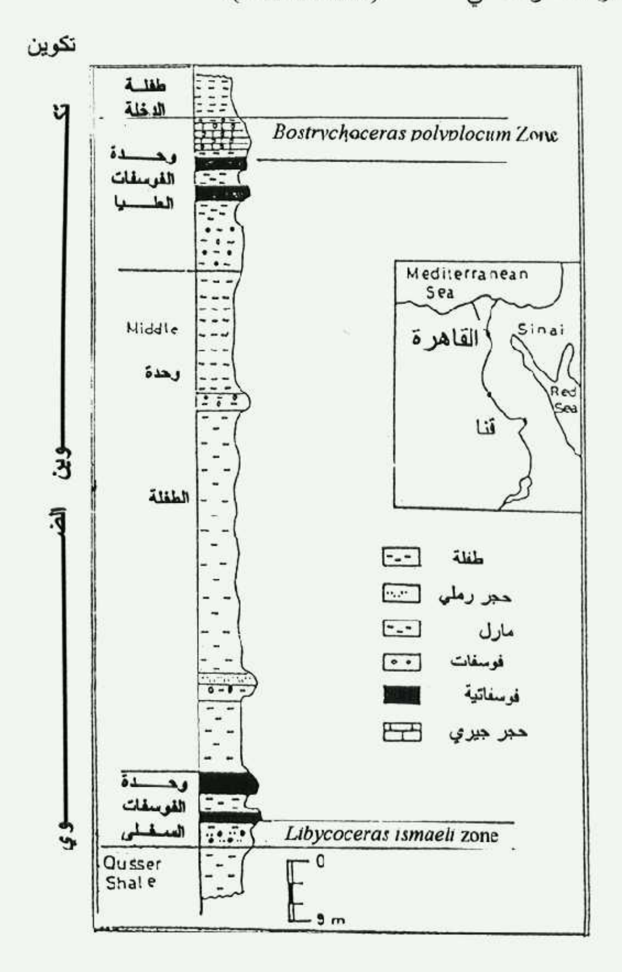
وصخور تلك الوحدات الطباقية قد تكون صخور رسوبية أو متحولة أو نارية أو مزيج منها. وتسمى الوحدات الطباقية التي يحدها أسطح عدم توافق بالوحدات العرضية (Allostratigraphic Units) وذلك وفقا للجنة أمريكا الشمالية للتقسيم الطباقي والمعروفة بـ (NACSN) حيث تعرف الوحدة (Allostratigraphic Unit) بأنها جسم صخري رسوبي ذو تطبق، والوحدة قابلة للتخريط الأرضي وتتميز بوجود حدين من عدم الإستمرارية (Bounding

(Discontinuition. وهي تقابل من حيث الأبعاد الوحدة الحجرية وتتشابه معها إلى حد كبـــير، إلا أنه ليس من الضروري أن تكون الوحدة العرضية متجانسة بل إن صفاتها قد تختلف جانبيـــاً ورأسياً ووحدات الطباقية العرضية وحدات رسمية تسمى على غرار تسمية الوحـــدات الطباقيـــة الحجرية ورتب وحداتها من الأعلى إلى الأدنى تضم:

المجمـــــوعة العرضية (Allogroup).

التكـــويـــن العـــرضـــي (Alloformation).

العضـــــو العـــرضـــي (Allomember).



شكل (٥٥) مفهوم الوحدات شبه الطباقية بين الوحدات الطباقية الحجرية الرسمية والوحدات الطباقية الزمنية.

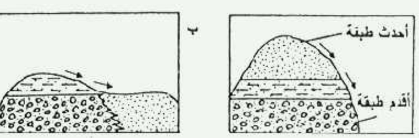
يمكن إعتبار الوحدة المتجانسة صخريا والمتكونة من الطفل والتي تقع بين طبقتين مميزتين من الفوسفات تكوينا بغض النظر عن تجانسها من عدمه ، وبما أنها تقع بين طبقتين علامة وتمثلان في الوقت نفسه نطاقين من أمونيتات الكمباني (Campanian)، أي تحدها وحدات طباقية زمنية ؛ فحينئذ يمكن إعتبار الوحدة شبه الطباقية وحدة طباقية زمنية. (من حمامة وكساب، ١٩٩٠م، ص ٤٣٨، شكل ١)

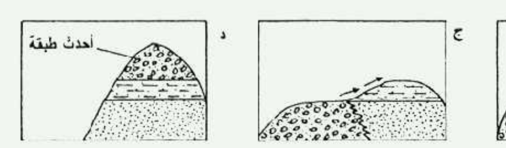
طباقية الآثار (Archeological Stratigraphy):

توجد علاقة وثيقة بين الطبقات الحاملة للمواد الآثارية والطبقات الأرضية. فالمشتغلون بعلم الآثار يتعاملون مع التطبق الآثاري (Archeological Stratification) مقارنة بالتطبق الأرضي (Geological Stratification). وبالطبع قد تتفق طباقية الآثار والطباقية الحجرية حول بعض المفاهيم وقد تتباين كل منهما (جدول ١٤) و(شكل ٥٦).

جدول (١٤) : أوجه التباين والتشابه بين طباقية الآثار والطباقية الحجرية.

وجه التباين	علم الآثار	علم الجيولوجيا
التطبق (Stratification)	التطبق الآثاري يحدث أساساً بفعل الإنسان أو بالظروف الطبيعية كالفياضانات وغيرها.	التطبق يحدث نتيجة ظروف ترسيبية بحتة لا دخل للإنسان فيها.
أنواع التطبق	توجد ثلاث مراحل للتطبق الآثاري الناتج بفعل الإنسان : أ- يصنع الإنسان مجموعة من الأشياء الجامدة لا حياة فيها، ويذهب الإنسان وقد تبقى الآثار لتقابل الأحافير في علم الأرض. ب- تخزن الأشياء الأثارية في مناطق محددة في مستوى أعلى تضاريسياً. جـ- يحفر الإنسان في الطبقات (لدفن الموتى أو تشييد القصور وإقامة الجدران) محدثاً شواهد طباقية رأسية.	تتعدد أنواع التطبق فمنها العادي والمتقطع والمتدرج وغيرها، وجميعها تتكون بظروف طبيعية لا دخل للإنسان فيها، والأصل في نشأتها أنها تتوضع أفقياً.
المبدأ الرئيسي	مبدأ التقابل (Interface) وهو إما سطح طبقة (سطح الطريق) أو سطح ناتج من إزالة الطبقة أو الطبقات.	مبدأ التعاقب، ويقابل مبدأ التقابل هنا أسطح الطباقية وعدم التوافق.
أبعاد الوحدة	وحدة طباقية الآثار تكون محدودة جداً.	كثير من وحدات الطباقية الحجرية خاصة التكوين يجب أن تقبل الترسيم الأرضي.
المضاهاة	ممكنة ويزيد من صعوبتها إختلاف أعمار الآثار من منطقة لأخرى.	المضاهاة الحجرية هامة جداً وتعد أساساً للتخريط الأرضي.
الإنقراض	مواد الآثار قد تتداول حتى بعد توقف إنتاجها.	الكائنات تنقرض وتترك أحافير تدل عليها.
مشكلة الإنعزال	قد تنعزل الحضارات إنعزالاً تاماً بعضها عن بعض.	الإنعزال نتيجة الحواجز الجغرافية وغيرها وأيضاً بتغيير السحنات جانبياً ورأسياً.
تغير التوضع	الطباقية المنعكسة (Reversed Stratigraphy) ينعكس التتابع الطبقي في نواتج مخلفات الحفر، حيث تكون أقدم الطبقات هي التي على السطح والطبقات المنعكسة ينتج عنها طبقات جديدة تتكون من مكونات الطبقات القديمة.	الإضطراب قد يؤدي إلى إنعكاس توضع الطبقات مع عدم تكوين طبقات جديدة.
البقايا والمنقولات	تعني أشياءً معاصرة للطبقة وإن كانت منتجة من قبل.	تعني أجساماً قديمة متواجدة في طبقات حديثة.





شكل (٥٦) شكل توضيحـــــي يبين إنعكاس الطاقية في علم طباقية الاثار. أ- تمثل الطبقات الأصلية قبل عملية الحفر ، ب جـ ، د تمثل كومات نواتج الحفر. ويلاحظ إنعكاس الطباقية فتظهر أقدم الطبقات علـــى سطح كومة المخلفات (Spoil Heap).

طباقية القمر

ثار جدل عنيف حول مدى تطبيق الطرق الطباقية والمبادئ الطباقية بالنسبة لدراســة ســطح القمر الذي تعتمد دراسته أساساً على تقانة الإستشعار عن بعد، بالإضافة إلـــى العينـــات التـــي جمعت بواسطة مركبات الفضاء التي هبطت على سطحه، وقد ساهمت العينات في فهم طباقية القمـــر (جدول ١٥) لحد ما حينما أمكن تجسيم صخور سطح القمر فيما يشبه الوحدات الطباقية الحجرية.

وبالرغم من إختلاف طبيعة القمر عـــن كوكـــب الأرض إلا أنـــه يتمـــيز ببعـــض المعـــالم المميزة لسطحه والتي تضم الأراضي المرتفعـــة المعروفـــة بإســـم تـــرا (Terra) والأحـــواض التي تشبه فوهة البراكين، وبحار القمر التي تمثـــل منـــاطق غامقـــة اللـــون تمـــلأ الأحـــواض وتعرف ببحار القمر (Maria). وحديثـــاً أتفـــق علـــى ان الفوهـــات المنتشـــرة علـــى ســـطح القمر تمثل فوهات إرتطام أجسام كونية. ويفـــترض أن الأحـــواض نشـــأت مـــن مثـــل هـــذه الإرتطامات و أنها ملئت بـــالفيوض البركانيـــة.

جدول (١٥) : الطباقية العامة ومقياس الزمن للقمر.(Based on Wilhelms, 1987)

التتابعات الأساسية	الأنظمة –العصور (Systems– Periods)	النسق – العهود (Series - Epochs)	التقويم الزمني للحدود (بليون سنة مضت)
VI	الكوبرنكـــان (Copernican)		١٠ر١
	الإيراتوثيني (Eratosthenian)		٢٠ر٣
	الإمبيري (Imbrian)	العلوي/المتأخر	٨٠ر٣
III		السفلي/المبكر	٨٥ر٣
II	النكتاري (Nectarian)		٩٢ر٣
I	ماقبل–النكتاري (Pre-Nectarian)		٥٥ر٤

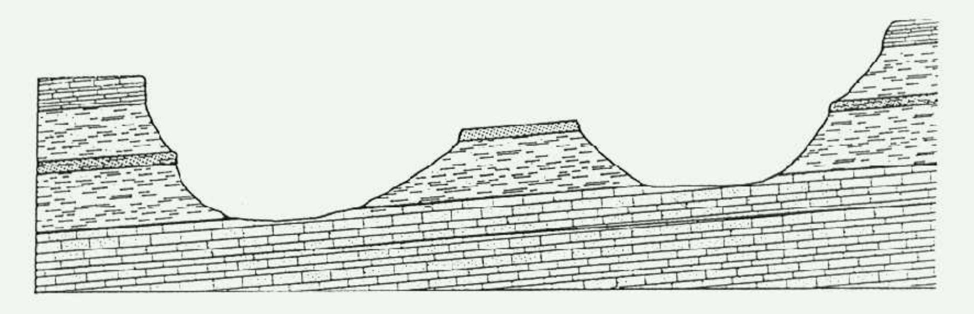
المضاهاة الفيزيائية (Physical Correlation) :

تمثل المضاهاة المبدأ الأساسي للطباقية وبدونها يصعب تشييد مقياس للزمن أو إعطاء تفسير له. وبالرغم من هذه الأهمية فليس هناك للأسف تعريف بسيط للمضاهاة بل هي تحمل معان عدة.

ووفقاً للمرشد الطباقي العالمي (International Stratigraphic Guide) فإن المضاهاة في الطباقية تأتي بمعنى بين التطابق (Correspondence) في الصفة وفي الوضع الطباقي (Stratigraphic Position) (شكل ٥٧).

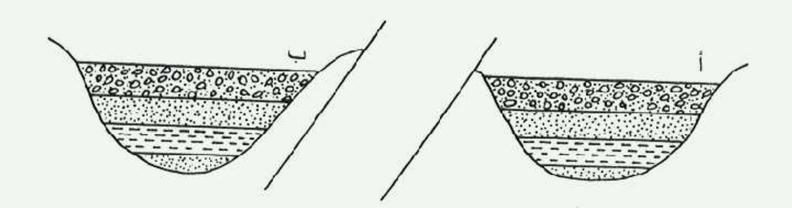
وتعرف مجموعة القواعد الطباقية لأمريكا الشمالية (The North American Stratigraphic Code) المضاهاة بأنها طريقة توضيح التطابق بين أجزاء الوحدة الطباقية التي تنفصل جغرافياً عن بعضها البعض (شكل ٥٨).

والمضاهاة بمعناها الواسع تعني التكافؤ. والمعلوم أن الوحدات الطباقية يمكن أن تتكافأ في نواح ثلاث : أ- الزمن. ب- التركيب الحجري. جـ- المحتوى الأحفوري.



شكل (٥٧) المضاهاة عن طريق التشابه في (التركيب الحجري) والوضع الطباقي.
(From Spencer, 1962, page 32, Fig. 2.7, by Thomas Y. Crowell Company).

ومن الناحية التاريخية فإنَّ هناك وجهتا نظر في تعريف الطباقية وكلاهما متباينتان أشد التباين، فمن وجهة النظر الأولى فإن المضاهاة تعني التكافؤ في الزمن وبناءً عليه فإن المضاهاة الطباقية الحجرية لا تعد من أنواع المضاهاة.



شكل (٥٨) رسم توضيحي يبين مفهوم المضاهاة بين أقاليم متباعدة بالرغم من وجـــود حواجـــز فيزيائية بينهما.
(From Harbaugh J. W., 1968, P. 24, Fig. 16).

ووفقا لوجهة النظر الثانية فإن المضاهاة تعني التكافؤ في النواحي الثلاث المذكـــورة آنفـاً. ويمكن مضاهاة الصخور التي تنتمي إلى نفس الوحدة الطباقية الحجريـــة أو الوحـدة الطباقيـة الحياتية بغض النظر عن أن كلاً منهما قد يختلف في زمن تكوينه.

وبناءً على ذلك فإن القانون الطباقي لأمريكا الشمالية قد أقر عام ١٩٨٣ ثلاثـة أنـواع مـن المضاهاة :

أ – **المضاهاة الحجرية (Lithocorrelation)** : المضاهاة على أساس التشابه الحجـــري والوضع الطباقي (Stratigraphic Position).

ب – **المضـــاهاة الحـــــياتية (Biocorrelation)** : المضاهـــاة علـــى أســـاس المحتوى الأحفوري والوضع الطباقي الحياتي (Biostratigraphic Position).

جـ – **المضاهاة الزمنية (Chronocorrelation)** : المضاهاة على أساس التكافؤ في العمر والوضع الطباقي الزمني (Chronostratigraphic Position).

أهمـــية المضـــاهـــاة

المضاهاة كما ذكرنا من قبل هي من أهم الطرائق المستخدمة في علوم الأرض وهي علـــى وجه الخصوص تفيد في مجالات عدة منها على سبيل المثال لا الحصر :

١ – توضيح مدى إستمرارية الوحدات الحجرية.

٢ – الحصول على التتابع الطباقي النموذجي محلياً وعالمياً.

٣ – تحديد التغيرات في خصائص الوحدات الحجرية.

٤ – رسم التغير في الإطار التشكيلي لعملية الترسيب.

٥ – تحديد التغيرات في البيئة القديمة والمساهمة في دراسة الجغرافيا القديمة.

٦ – تحديد التاريخ البنائي والترسيبي للمناطق المختلفة والإسهام في تحليل الأحواض الرسوبية.

٧ – إلقاء الضوء على معالم اللوحات البنائية.

٨ – تحديد مناطق التنقيب عن النفط أو الغاز أو الماء أو الثروات الطبيعية الأخرى.

مشاكل تعرقل المضاهاة

كل نوع من أنواع المضاهاة التي سبقت الإشارة إليها قد يعترضه بعض المشاكل التي تزيد من صعوبة تطبيقه من مثل :

١ – مشاكل تقابلنا عند إستخدام الأحافير في المضاهاة :

أ – أحافير السحنات (Facies Fossils) : حيث تحوي البيئات الرسوبية المختلفة صحبات مختلفة من الأحافير.

ب – أقليمية الكائنات الحيوانية (Faunal Provincialism) : حيث ينحصر وجود بعض الكائنات الحيوانية في أقاليم محددة.

جـ – طول الفترة الزمنية التي قد تستغرقها الكائنات للهجرة من مكان لآخر.

د – قد يختلف المدى الزمني لأنواع الأحافير عن مداها الزمني المتفق عليه.

هـ – إفتقار بعض الوحدات الحجرية في الأحافير.

و – عدم حفظ الأحافير حفظاً جيداً بالإضافة إلى قلة تنوعها (Low Diversity).

٢ – مشاكل تنجم عن التركيب الصخري :

أ – الإختلاف بين حدود الوحدات الحجرية والخطوط الزمنية (Time Lines).

ب – التغير الجانبى فى الحجرية نتيجة لتغير البيئات وبالتالي السحنات الرسوبية.

جـ– عمليات التحول (Metamorphism) التي قد تطمس التركيب الحجري الأصلي.

د – تغير التركيب الحجري الوحدات الحجرية عبر مسافات طويلة.

٣– مشاكل عـــــــــامـــــــة :

مثل حركات الرفع والتعرية وإنقطاع الترسيب والتشوه بالثني والتصدع والشقوق وتضـــارب المعلومات.

ويصنف العَالِم شو (Shaw) المضاهاة إلى مضاهاة مباشرة (Direct) أو رســمية (Formal) ومضاهاة غير مباشرة (Indirect) أو غير رسمية (Informal).

جدول (١٦) : العلاقة بين المضاهاة الرسمـــــــــية أو المباشرة (Formal / Direct) والمضاهاة الغير مباشـــرة والمطابقة (Matching) (بعد شو (Shaw) ، من بوجز (Boggs) عام ١٩٨٧).

المضاهاة	رسمية (Formal/Direct)		الإقتفاء الطبيعي للوحدات الطباقية
	غير مباشرة (Informal/ Indirect)		إختيارية : مقارنة عينية
		منهجية	وحيد التكافو الرقمي (Monothetic) (أي وحيد الصفات)
			متعدد التكافو الإحصائي (Polythetic) (أي متعدد الطبقات)
المطابقة (Matshing)			مقارنة الوحدات غير الطباقية

وقبل أن نتطرق إلى طرق المضاهاة يجدر بنا أن نوضح الفرق بين المطابقـــة (Matching) ومضاهـــاة الوحـــدات الحجريـــة (Lithocorrelation). فـــالأولى هـــي ببســـاطة تطـــابق (Correspondence) سلسلة بيانات دون النظر إلى الوحدات الطباقية بينما المضاهاة تعني تكـــافؤ الوحدات الطباقية في الأجزاء المنعزلة جغرافياً.

المضـــاهـــاة الحجرية (Lithocorrelation) :

العلاقة بين المضاهاة الحجرية والمضاهاة الزمنية :

من المفيد أن نشير إلى أن المضاهاة التي تقام كلية على شواهد من الطباقية الحجرية يجـب أن تؤخذ بحذر لأن الوحدات المتشابهة حجرياً من الممكن أن تتكون فـي أزمنـة مختلفـة فـي المناطق المختلفة دون أن يتواجد بينها أي نوع من الإرتباط الفيزيائي. وعلى ذلـك فقـد تنشـأ أخطاء جسام حينما يحاول الدارس لعلوم الأرض أن يضاهي بين قطاعات متباعدة جداً بعضـها عن بعض. فكثير من وحدات الطباقية الحجرية عند تتبعها على المستوى العالمي نجدها تتقـاطع مع الحدود الزمنية.

طرق المضاهاة الفيزيائية :

تشمل المضاهاة الحجرية أو أحياناً تسمى المضاهـاة الفيزيائيـة (Physical Correlation) الأنواع التالية :

١ – الإقتفاء الجانبي لوحدات الطباقية الحجرية المستمرة (Lateral Continuity).

٢ – التشابه الحجري والوضع الطباقي (Lithologic Similarity and Stratigraphic Position).

٣ – تتابع الطبقات (Sequence of beds).

٤ – الخواص الفيزيائية للأرض (Geophysical Characteristics).

١– الإستمرارية الجانبيـة (Lateral Continuity) :أبسـط طـرق المضاهـاة الحجريـة هي تتبع الطبقات المنكشفة جانبياً عـن طريـق المشـي علـى الطبقـات المسـتمرة جانبيـاً (Walking Out) أو دراسة الصور الجوية أو تتبـع الطبقـات تحـت السـطح **(شـكلا ٥٩ و ٦٠)**. ويمكن التعرف على بعض الوحدات الطباقيـة الحجريـة مـن مظـاهر شـكل الأرض التي تحتويها. وتوجد بعض المعوقات لهذه الطريقة، منـها علـى سـبيل المثـال أن الطبقـات المستمرة قد يصبح سطحها مغطىً بعد مسافة قصيرة ، هـذا عـلاوة علـى البُنيـات المعقـدة أو إختفاء الطبقات من جراء عمليات التحات. وتظهر أيضـاً مشـكلة خطـيرة فـي حالـة إذا كانت الطبقة تستدق جانبياً أو تتداخـل مـع طبقـات أخـرى مجـاورة. لذلـك فـإن علمـاء الأرض يفضلون تتبع وحدة حجرية كبـيرة مثـل التكويـن أو العضـو بـدلاً مـن مضاهـاة طبقة واحـدة.

وبالرغم من بساطة هذه الطريقة من طرق المضاهاة إلا أنها تلعب دوراً هاماً في الترسيم أو التخريط السطحي (Surface Mapping) خاصة في المناطق التي تفتقر إلى غطاء نباتي كثيف، أو في حالة وجود غطاء مميز من التربة أو الرواسب السطحية أو النباتات وذلك بالإسترشاد بالتغيرات في معالم الأرض ، لون التربة أو نوع النباتات ، أو التغير في التضاريس التي تعكس مدى درجة صلابة أو تآكل الوحدات الحجرية.

٢- **التشابه الصخري والوضع الطباقي:** تعتمد هذه الطريقة على خواص الصخر مثل نوعيته وتركيبه الكيميائي والمعدني (هل هو حجر جيري أم حجر رملي أو غير ذلك) ، ولونه، ووفرة المعادن الثقيلة والمعادن المميزة فيه ، وبُنيانه للصخور الرسوبية الأولية مثل التطبق المستوي والتطبقي المتقاطع (Cross-Bedding) والسمك، وخواص الأسطح المعراة.

ومن الجدير بالذكر أنه كلما كثر عدد الصفات المستخدمة كلما كانت المضاهاة أكثر دقةً. ونؤكد على أن المضاهاة على أساس حجري فقط لا تعطي ضماناً أكيداً على صحة المضاهاة ، فالوحدات الحجرية قد تتشابه صفاتها بدقة نظراً للتشابه في ظروف البيئة ، وقد تختلف أعمارها مع تشابه سحنتها الحجرية. وكذلك من الصعب إستخدام التشابه الحجري في مضاهاة الصخور التي تكونت في دورات ترسيبية مثل صخور دورات الفحم (Coal Cyclothems).

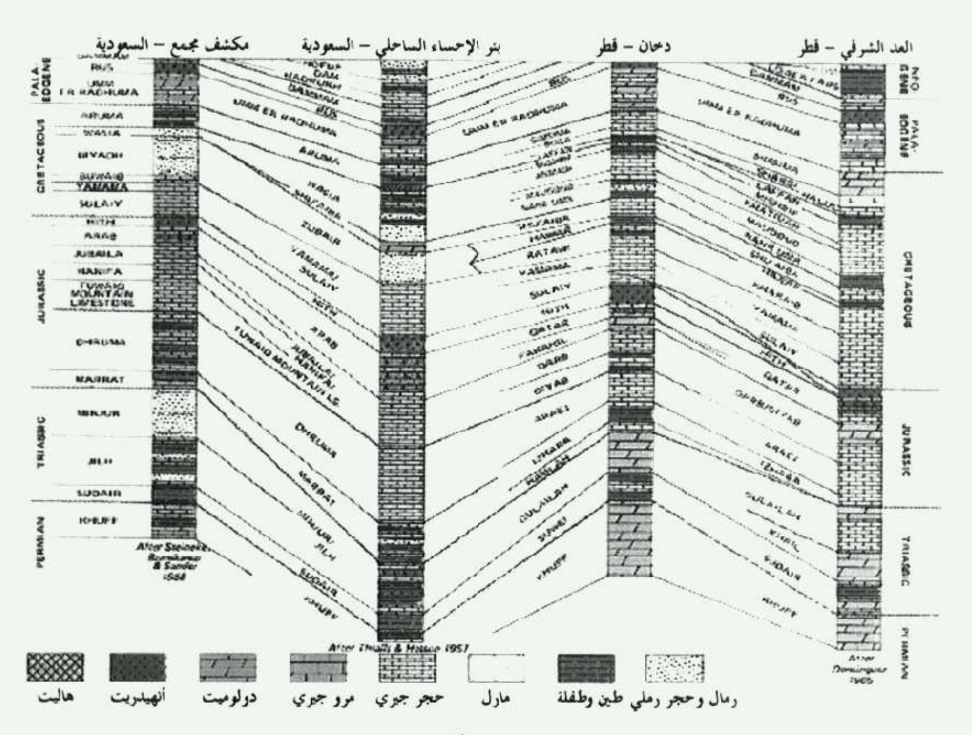
وتستخدم طريقة المضاهاة بواسطة التشابه الحجري (Lithologic Similarity) على نطاق واسع في مجال التنقيب عن النفط. فمن الضروري في آبار الحفر التعرف على الوحدات الحجرية التي تخترقها أجهزة الحفر لتحديد العمق اللازم للوصول للنطاق الحامل للزيت وأيضاً لمقارنة القطاع الطباقي التحت سطحي بنظيره السطحي الموجود بالقرب من مناطق الحفر. ومما لاشك فيه أن العينات التي يتم الحصول عليها أثناء الحفر تلعب الدور الرئيسي في المضاهاة الحجرية تحت السطحية ، وتفيد المعلومات التي يتم معرفتها من تحليل العينات اللُبِّية (Core Samples) أو الاسطوانية والعينات الحطامية (Ditch Samples) في عملية المضاهاة وفي غيرها من طرق التحليل الطِباقي. وأهم الطرق المستخدمة للتعرف على الصَفّات الحجرية من تحليل العينات يمكن حصر بعضها في الآتي :

١ – تحليل المحتوى من المعادن الثقيلة.
٢ – التحليل من منظور كيمياء الأرض.
٣ – تحليل أنسجة الصخور الرسوبية.

٤ – تحليل معادن الطين بالأشعة السينية وغيرها من التِقَانَات.

٥ – الدراسة المجهرية للشرائح الحجرية.

٦ – دراســـــــــة المعادن المُشِعَة ... إلخ.

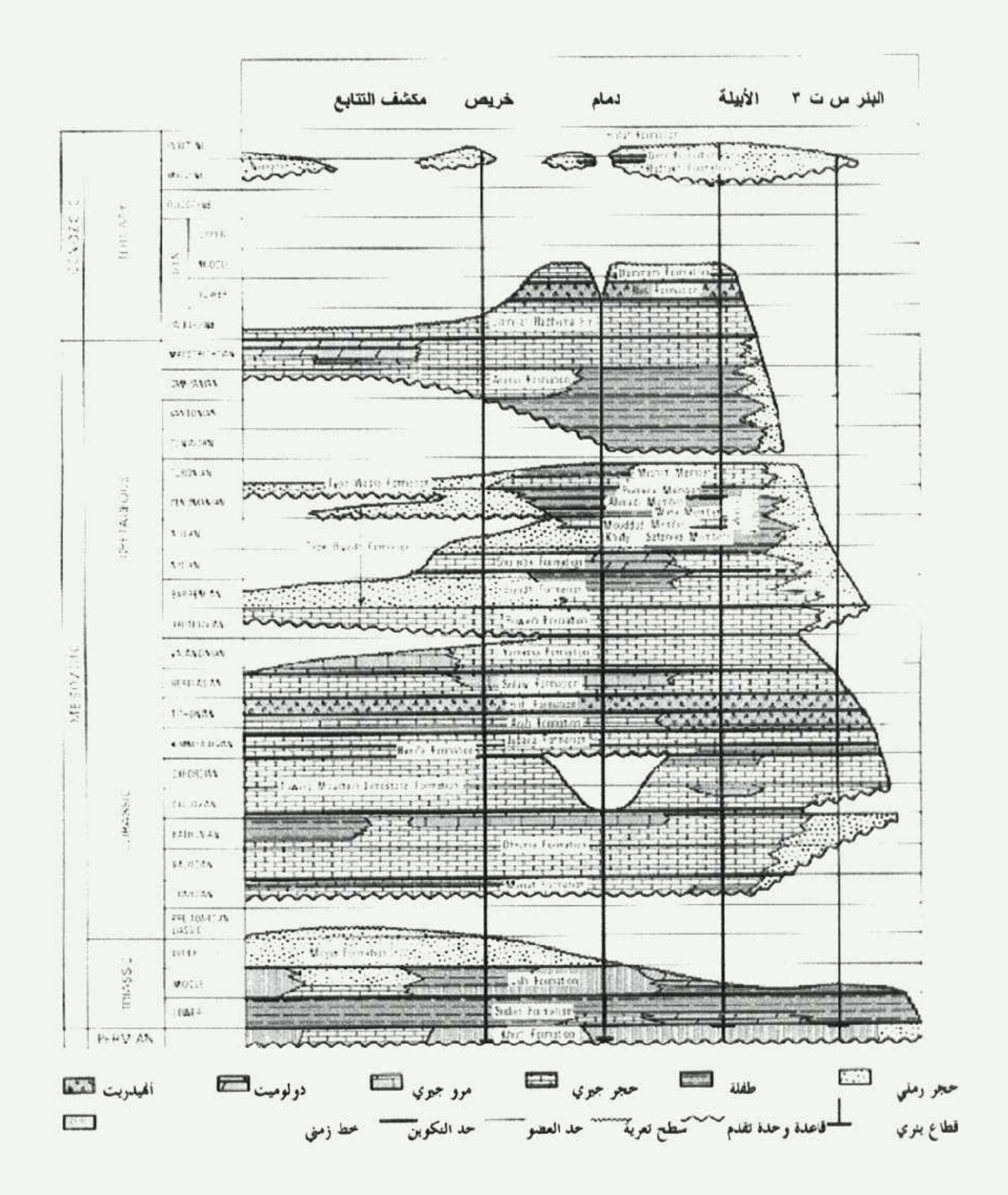


شكل (٥٩) المضاهاة الفيزيائية لتتابعات الصخور الرسوبية المتكشفة وتحت السطحية في شرق شبه الجزيرة العربية.

(From Well Evaluation Conference, 1975, Chapter 1 by Arabian American Oil Company Seetia or 2013, Fig. 1.5).

٣– الوضع الطباقي في التتابع (Position in a Stratigraphic Sequence) : قـــد يفيـــد وضع الطبقات في التتابع في المضاهاة حتى ولو إختلفت السحنة الحجرية للوحدة الطباقيـــة مـــن مكان لآخر وأيضاً في حالة الطبقات المميزة للدورات الرسوبية (Cyclothems). وتلعب الطبقـــة الدليلية أو الطبقة المميزة (Key or Marker Bed) دوراً هاماً في هذا النوع من المضاهاة.

الطبقة المميزة (Marker Bed) : بعض الطبقات تترسب في آن واحـــد فـــوق مســـاحات واسعة من الأرض. ونذكر من أمثلة الطبقة العلامة الحجرية :



شكل (٦٠) مقطع أرضي (Restored Cross Section) يوضح المضاهاة الحجرية للوحـــدات الحجريـــة لحقبي الحياة المتوسطة والحديثة في شرق شبه الجزيرة العربية).

(From Well Evaluation Conference, 1975, Chapter 1 by Arabian American Oil Company Seetia or 2013, Fig. 1.5, P. 18).

١– طبقة حجر جيري رقيقة.
٢– طبقة حجر جيري أو حجر رملي رقيقة.
٣– طبقة فحم أو ليجنيت.
٤– نطاق معادن ثقيلة.
٥– نطاق مواد غير ذائبة.
٦– طبقة رماد بركاني.
٧– طبقة فوسفات حصوية.
٨– بروز في سجل بئري.
٩– سطح إنعكاس زلزالي.
١٠– طبقة من الأمونيت (شكل٦١) أو طبقة المحار مثل طبقة الأمونيت (*Ammonite* Bed).

وتعتبر كل من هذه حلقة مميزة (Marker Bed) أو دليلية (Key Bed) وتتمثل في السجلات المرسومة بواسطة طرائق الفيزياء الأرضية على هيئة بروز محدد.

ويلعب الوضع الطباقي (Stratigraphic Position) دوراً أساسياً في المضاهاة عن طريق التشابه الحجري (Lithosimilarity) ، فقد تتشابه وحدتان تشابهاً تاماً في التركيب الحجري، وفي كثير من الصفات الفيزيائية ، ومع ذلك لا يمكن مضاهاتهما إلا إذا تكافئتا في وضعهما الطباقي، فإذا ما تواجدتا مثلاً في قطاع واحد يفصل بينهما طباقياً وحدة ثالثة فلايمكن مضاهاتهما. وبالطبع تفيد الأحافير في تحديد الوضع الطباقي للوحدات الطباقية الحجرية المتباعدة ومع ذلك فقد يختلف عمر الوحدة الطباقية الحجرية من مكان لآخر بالرغم من أنهما يشغلان وضعاً طباقياً واحداً.

٤– المضاهاة عن طريق السجلات البئرية المرسومة لتتابعات الآبار بواسطة طرائق الفيزياء الأرضية (Correlation by Well-Logs) : تتشابه السجلات البئرية في الآبار المتقاربة ، ولذا تستخدم في مضاهاة الصخور التي تخترقها تلك الآبار. وتسهم الخواص الكهربية (Electric Properties) وإنبعاث أشعة جاما (Gamma-Ray Emission) وزمن الحفر، وسرعة الموجات، وغيرها من القياسات البئرية في مضاهاة الوحدات الطباقية. ويجب التأكيد على أن المضاهاة بواسطة السجلات البئرية ليس من الضروري أن ترجع إلى التشابه الحجري فقط لأن الصفات الفيزيائية والكيميائية للموائع تضيف للصخر صفاتٍ أخرى تسهم في نجاح عملية المضاهاة.

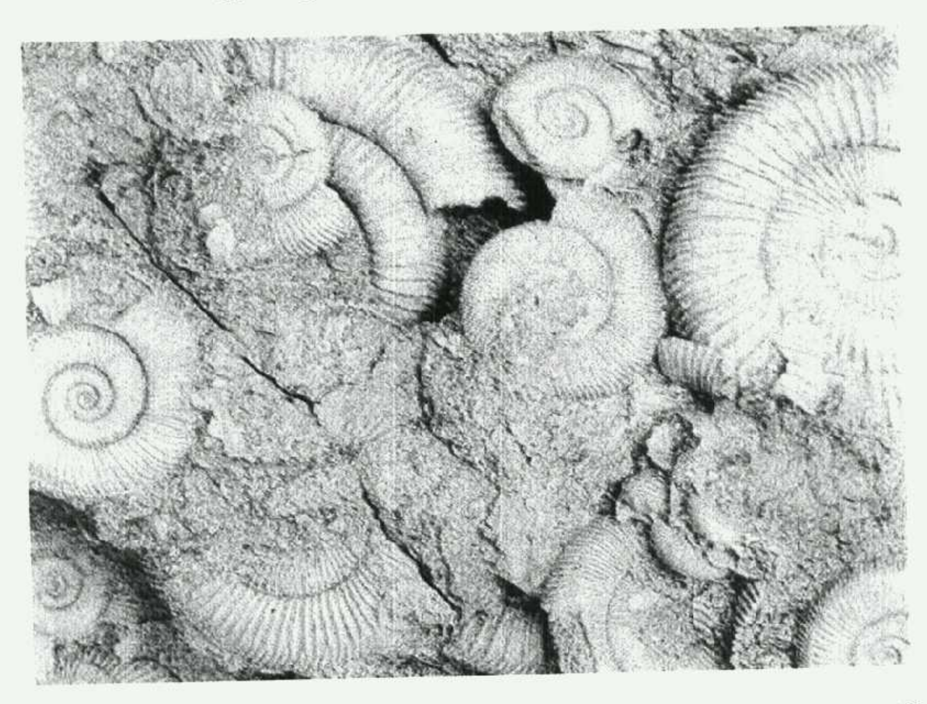
وتمثل السجلات البئرية الكهربية (Electric Logs) إحدى الطرق الشائعةِ الإستخدام في عملية المضاهاة حيث تستخدم "ضربات "Kicks" أو عدم الإنتظام في منحنى السجل الكهربي كوسيلة من وسائل المضاهاة.

ويسجل منحنى الجهد الذاتي (Spontaneous Potential Curve "SP") على اليمين ومنحنى المقاومة [Resistivity (Res.) Curve] على اليسار (شكل ٦٢). وفي حالة الطفلة يقع منحنى

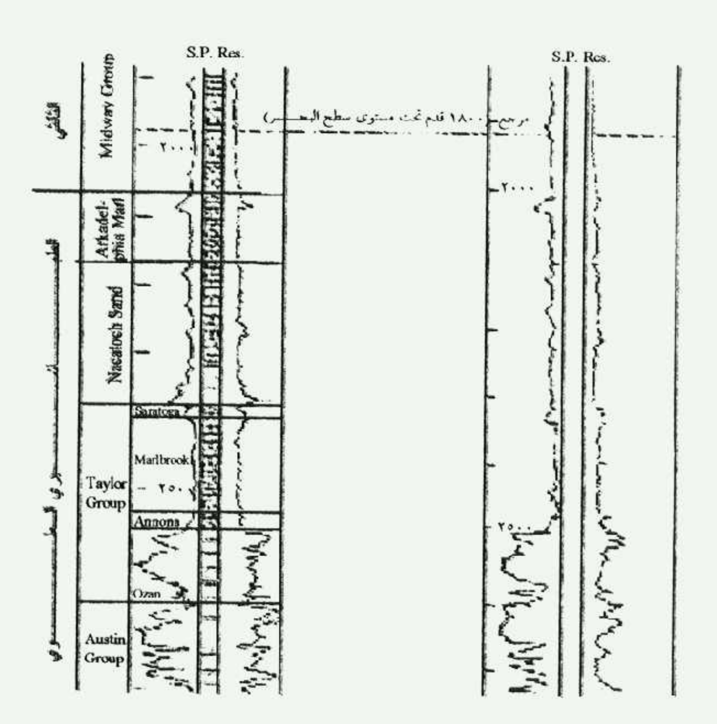
الجهد الذاتي ومنحنى المقاومة بالقرب من الخطوط المتوسطة ، بينما تظهر منحنيات طبقات الحجر الرملي (الأكثر نفاذية والأكثر مسامية والمحتوية على ماء عذب أو ماء مالح أو هيدروكربونات) ذبذبات بعيدا عن خطوط كل من منحنيات المقاومة والجهد الذاتي. أما في المارل والحجر الجيري فتكون منحنيات الجهد الذاتي أقرب إلى منحنيات الطفلة الرملية بينما تحيد منحنيات المقاومة بعيدا عن خط الطفلة (Shale Line). وبذلك يمكن مضاهاة التتابعات الموجودة في الشكل السابق باستخدام المعلومات المذكورة.

تطبيقات الطباقية الحجرية والمضاهاة الحجرية:

أ- تصحيح التفسيرات الخطأ و إعادة التفسير الطباقي: بالرغم من أن التشابه الحجري يلعب دورا هاما في المضاهاة إلا أن إستقراء الصورة التحت سطحية قد يكون مخالفا للواقع، حيث يمثل الشكل (٦٣-أ) الصورة الحقيقية بينما تؤدي المضاهاة الخطأ إلى تصور التتابع الصخري ممتدا بميل ناحية الشرق مما يعكس إستمرارية في الترسيب جانبيا (شكل ٦٣-ب)، ويرجع هذا إلى نقص المعلومات لقلة عدد الأبار المحفورة.

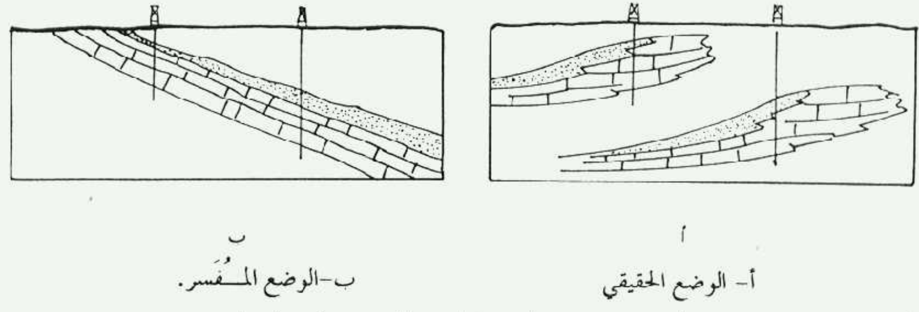


شكل (٦١) تعتبر طبقة الأمونيت طبقة مميزة وفي نفس الوقت تمثل وحدة رسمية من وحدات الطباقية الحجرية، والطبقة مكونة من حفريات أمونيتات من جنس داكتيليوسيرس (*Dactylioceras*) من العصر الجوري.
(From Busbey III et al., 1996, P. 228)



شكل (٦٢) المضاهاة بواسطة السجلات البئرية(Electric Logs) الكهربية لتتابعات صخور الطباشـــيرى العلوى والباليوجين تحت السطحيةفى جنوب أركانساس.

(From Cooper *et al.*,1990, P.176, Fig.6-14 , Merrill).



ب-الوضع المــفَسر. أ- الوضع الحقيقي

شكل (٦٣) دور المضاهاة الحجرية في معرفة الوضع الحقيقي للصخور تحت السطح.

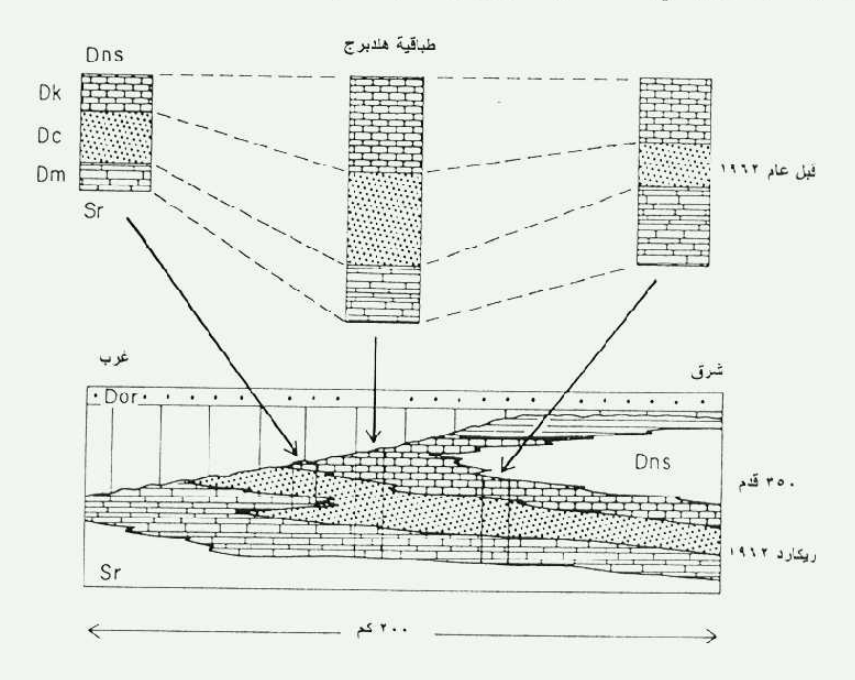
(From Harbaugh J. W., 1968, P. 26, Fig. 18).

كما أنّ التفسير الجيد للتتابعات الطباقية في منطقة ما يعتمد على كمية البيانات المتوفرة وقـد تتغير معرفة العلاقات الطباقية في ضوء المزيد من البيانات. فعلى سبيل المثال كان يُنظر إلــى

طِباقية مجموعة هلدبرج (Heldperg Group) على أنها تشبه تشبه طِباقيـــة الكعكــة (Layer Cake)، وظل هذا التفســــير قائماً حتى عام ١٩٦٢م،ثم اتضــح بعــد ذلــك فــي ضــوء نتــــائج حفر آبار جديدة أنّ الوحدات الحجرية للمجموعة تتداخل (تتلســـن) مــع بعضـــها البعض (Intertonguing Relationship) (شكل ٦٤).

ب- الطباقية الحجرية ومشاكل المنشئات المدنية: تفيـــد الطباقيـــة الحجريـــة والمضاهـــاة الفيزيائية في تجنب أو حل مشاكل التخطيط عند بناء المدن الجديدة (شكل ٦٥) أو شق الأنفاق أو إقامة محطات المواصلات تحت الأرض.

جـ- المضاهاة الحجريـــة ومشـــاكل التنقيـــب عـــن البـــترول فـــي المنـــاطق المحليـــة: تلعب الطباقية الحجرية عامة والمضاهاة الفيزيائيـــة خاصـــة دوراً كبـــيراً فـــي تحديـــد أنســـب الأماكن لحفر الآبار في مصائد البـــترول (شـــكل ٦٦).



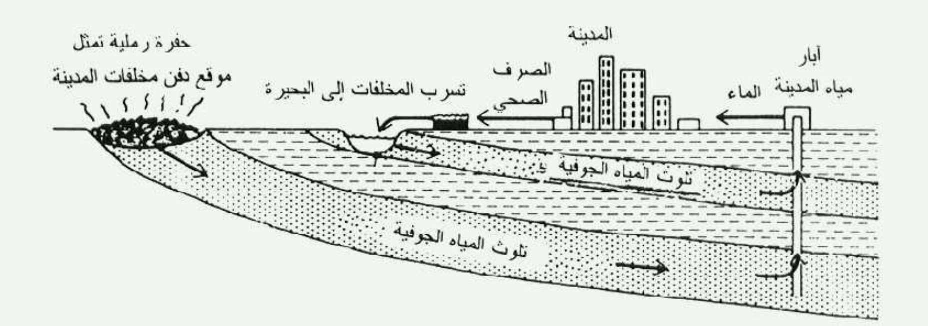
شكل (٦٤) رسم تخطيطي يوضح تفسيرين مختلفين لطباقية هلدبرج في نيويورك ، مابين طباقية الكعكـــة والسحنات المتشابكة (المتلسنة).

(Modified after Laporte, 1969, in Matthews, 1984).

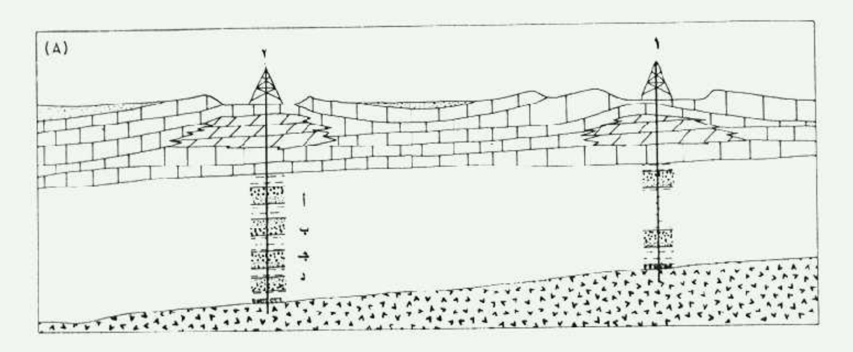
فقد ثبت من الحفر أن البئرين ١، ٢ جافان ومع أنّ عينـــات الوحـــدة الحجريـــة (د) فـــي البـــئر ٢ توضح وجود آثار الزيت (Oil Show) إلا أنّ البـــئر ٢ ليـس منتجـاً للنفـط . وكـلا البـئرين يخترقان الحجر الجيري ثم تتابعاً من الطَّفْلة والحجر الرملي حتـــى وصـــلا إلـــى ســطح صخـــور القـــاعدة.

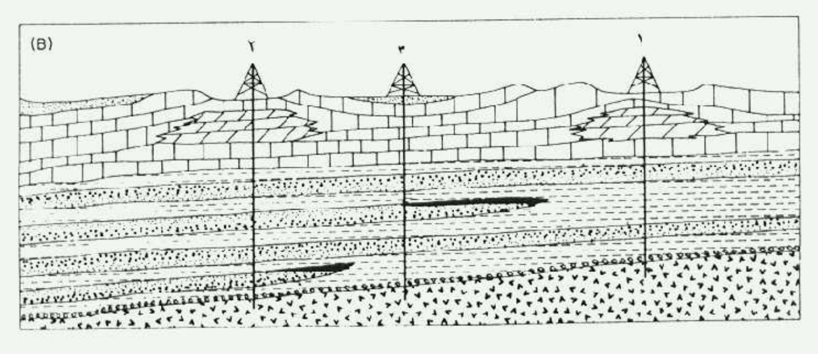
ولكن عمق سطح صخور القاعدة في البـــئر ٢ أكـبر منـــه فـــي البــئر رقـــم ١. والمعلومـــة الأخيرة مفيدة لأنها ربما تشير إلى أنّ تراجع وتقـــدم البحـــر ربمـــا كـــان العـــامل الأساســـي فـــي تبادل الرمل والطَّفْلة وعلى ذلك فقد يكون الحوض الترسيبي ناحيـــة الغـــرب. هـــذا مـــع ملاحظـــة أن البئر رقم ٢ يخترق أربع وحدات من الحجر الرملي في مقـــابل إثنتيـــن فقـــط يخترقـــهما البـــئر رقم ١. ويلاحظ أن الوحدتين أ، جـ تتميزان بتـــدرج الحجـــم مـــن النـــاعم إلـــى الخشـــن لأعلـــى وهذا من شواهد مرحلة البحر المتراجع وعلـــى العكـــس مـــن ذلـــك نلاحـــظ أن الوحدتيـــن ب، د تعكسان تدرج حجم حبيبات الرمل من الناعم إلـــى الخشـــن لأعلـــى.

بمعنى آخر قد تعكسان مرحلة تقدم بحري مما قـــد يعـــزى إلـــى إختفـــاء الوحدتيـــن ب، د بين البئرين ١، ٢ مما يغري بالحفر بينهما للعثور علـــى تجمعـــات الزيـــت.



شكل (٦٥) تطبيقات الطِباقية الحجرية والمضاهاة الفيزيائية ، مثال توضيحي لدراسة أبعاد المشاكل البيئية.
(From Matthews, 1984).



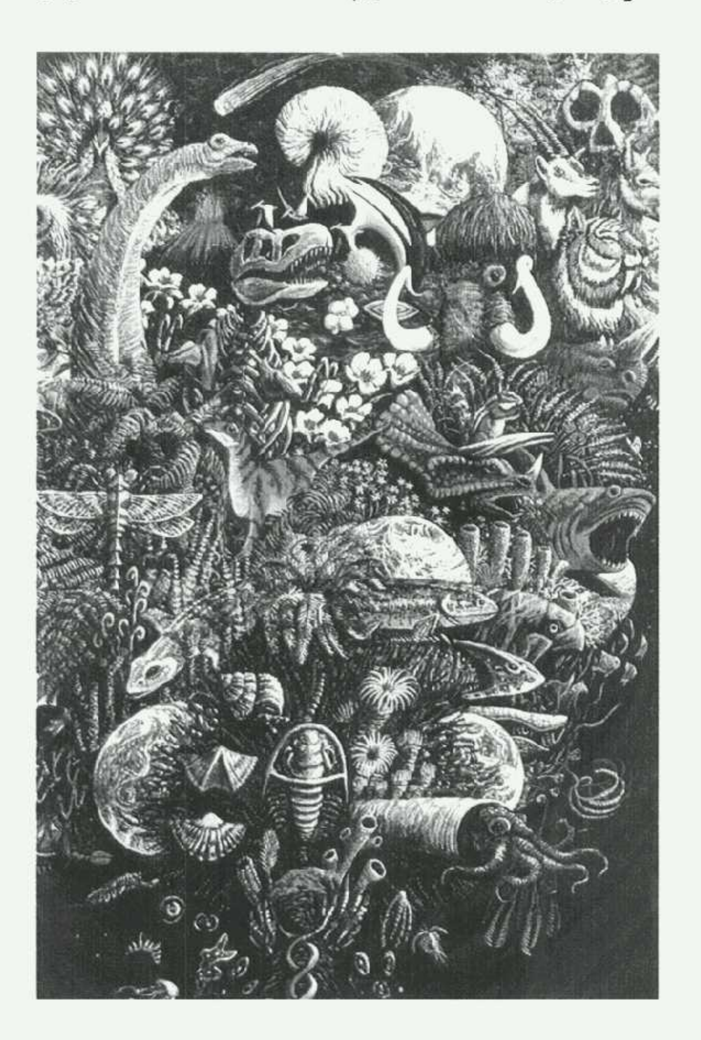


شكل (٦٦) تطبيقات الطباقية الحجرية والمضاهاة الفيزيائية في التنقيب عن البترول لتحديد موقع البئر المنتج رقم ٣ . إرجع إلى النص للإيضاح.

(From Matthews, 1984).

الفصل الحادي عشر
الطِباقية الحــياتية

•أهمية الطِباقية الحياتية •مرتكزات الطِباقية الحياتية• وحدات الطِباقية الحياتية المتداولة• الطرق الكمية للمضاهاة• أقاليم الكائنات • المضاهاة الحياتية.



تعاقب الخلائق عبر الزمن الأرضي.

(After Petersen and Rigby 1990, *4th ed.*, design by Jeanne Marie Regon, by Wm.C. Brown Publishing).

الطِباقية الحياتية
BIOSTRATIGRAPHY

تمثل الطباقية الحياتية أحد فروع علم الطبقات الذي يهتم بتوزيع الأحافير ودراسة علاقتها الزمنية ، وتعالج ترتيب الوحدات ترتيباً نسبياً على أساس المحتوى الأحفوري. ويُعد مصطلح الطباقية الحياتية الأكثر استخداماً من نظيره علم الأحافير الطباقي (Stratigraphic Paleontology). وعلم الطباقية الحياتية من الفروع التي تحتاج إلى التخصص الدقيق.

أهمية الطباقية الحياتية

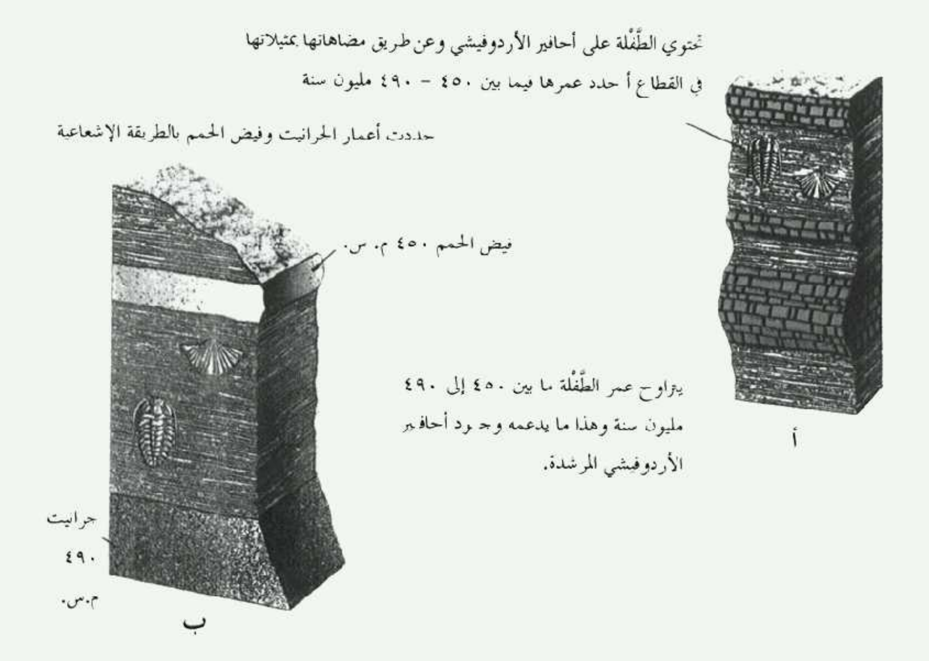
تعد الطباقية الحياتية الأساس الذي شُيد على ضوئه مقياس الزمن الأرضي وأقسامه المختلفة، فهي كما أنها تمدنا بأدق الوسائل العملية للمضاهاة، تظل الوسيلة الأكثر تفضيلاً في معرفة التقويم الزمني للتتابعات الحجرية (شكل ٦٧). وترتبط بطريقة مباشرة أو غير مباشرة بوحداتها.

مرتكزات الطباقية الحياتية

يمكن القول بأنه بدون الأحافير لا توجد طباقية حياتية، ولذا فإن طباقية زمان الحياة الخفية ما تزال في مهدها، وأيضاً يصعب تشييد الطباقية الحياتية لأجسام الصخور التي تكونت في بيئات غير بحرية. وقد لعبت المبادئ التالية أدواراً رئيسية في نمو وتطور الطباقية الحياتية.

١– مبدأ التعاقب الحياتي (Principle of Faunal Succession) :

تعتمد الطباقية الحياتية على ظهور سلسلة رائعة من الخلائق المتعاقبة عبر الزمن الأرضي يلي كل منها أو بعضها سلسلة أخرى تضمحل أو تندثر وتهلك فيها الكائنات. وفي ضوء الإحياء والإماتة تتنوع وتختلف نطاقات الحياة. وانطلاقاً من مبدأ التعاقب الحياتي الذي ينص على أن كل طبقة أو كل مجموعة طبقات تحوي أحافير تميزها عن غيرها من الطبقات الأخرى، يمكن القول أن كل مرحلة من المراحل الزمنية المتتابعة في تاريخ الأرض تحوي مجموعة فريدة من الأحافير يمكن من تحليلها معرفة أعمار الصخور التي تحويها ومقارنتها بتتابعات مرجعية.



شكل (٦٧) أهمية إستخدام الأحافير في تقدير الأعمار المطلقة لصخور القطاع (أ) عن طريق مضاهاتها بصخور قد قدرت أعمارها بالطريقة الإشعاعية (صخور القطاع ب تحتوي على نفس الأحافير).
(From Thompson *et al.*, 1995, Page 341, Fig. 15.15).

٢- مبدأ المرحلة (Concept of Stage) :

في سنة ١٨٤٢م عرف الفرنسي السيد أربني (Alcide d'Orbigny) المرحلة على أنها مجموعة الطبقات التي تحتوي على مجموعة الأحافير والتي من الممكن **تواجدها في أي مكان من العالم**. وقد أشتق أسماءً لمراحله المقترحة من أسماء المدن والظواهر الطبوغرافية التي تتكشف فيها صخور المرحلة. وهذه الفكرة القديمة تعد مدخلاً بسيطاً جداً للطباقية العالمية. والفكرة تلقي معارضة من البعض خاصة وأن أربني قد أعطى تعريفات عديدة للمرحلة. وكثير من مراحله (عشر في الجوري وسبع في الطباشيري) لا تزال تستخدم حالياً. وماتزال فكرته صحيحة على المستوى النظري، وقد تأكدت أهميتها في التقسيم الطباقي العالمي. ونحن نستشعر أن المعارضة لهذا المبدأ ربما أتت بسبب نظرته الأصولية المحافظة (Conservative) والتي تجاهلها حتى مُعَاوِنوه حول تكرار سلسلة النكسات والخلق عبر الزمن. وهذه الفكرة ربما

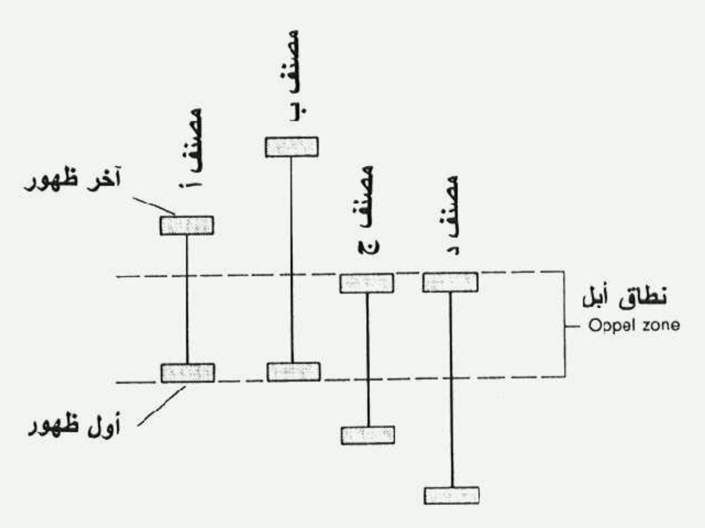
تتطابق مع ما نؤمن به حول مبدأ الإحياء والإماتة الذي هـو الأصـل فـي قـانون التعـاقب الأحفوري كما ذكرنا من قبل.

٣- مصطلح البرهه (الأوان) (Hemera) :

أدخل سيدني بوكمان (Sydney Buckman) عام ١٨٩٣م ، مصطلح البرهـة (الأوان) كأول وحدة للزمن الأرضي تقابل الزمن الذي تكون في أثنائه النطاق ، إلا أن هذا المصطلح لـم يعد متداولاً الآن.

٤- مـبدأ الـنطـاق (Concept of Zone) :

يرجع هذا المـبدأ إلىالألماني أبل (Oppel)، ولذا عُرف بنطـاق أبـل (Oppel-Zone)، وقد عرّف أبل النطاق على أنه طبقة أو مجموعة طبقات تعرف بواسطة تجمعات من الأحـافير حيث يوجد في كل نطاق عدد من الأنواع يتراوح ما بين ١٠ - ٣٠ نوعاً من الأحـافير التـي تتواجد معاً. وقد أطلق أبل على كل نطاق اسماً يحمل اسم نوع واحد، أو عدد قليل من الأنـواع التي تميز النطاق. وقد لاحظ أبل وجود تراكب (Overlap) في مدى الأنواع في النطاق الواحد، حيث يسجل بعضها أول ظهوره في قاعدة النطاق والبعض الآخر يسجل آخر ظهور لـه فـي قمة النطاق ، والبعض الآخر يقع مداه في داخل النطاق ، أو يمتد فيما فوق النطاق ذاته، (شـكل ٦٨). ويقال أن المرحلة (Stage) ما هي إلا مجموعة من النطق.



شكل (٦٨) رسم تخطيطي يوضح نطاق أبل (Oppel Zone)، حيث يتداخـل مـدى المصنفـات الأحفورية المستخدمة في تعريف النطاق.

(From Boggs, 1995, P. 591, Fig. 19.2)

وحدات الطباقية الحياتية المتداولة:

الوحدات الطباقية الحياتية :

تعبر الوحدات الطباقية الحياتية عن طبقات الصخر المميزة على أساس المحتوى الأحفوري، والتي توضع حدودها الطباقية بواسطة الشواهد الأحفورية ، مثل مستويات ظهور أو اختفاء أو وفرة وحدات تقسيمية للأحافير في مختلف تتابعات الصخر المحلية.

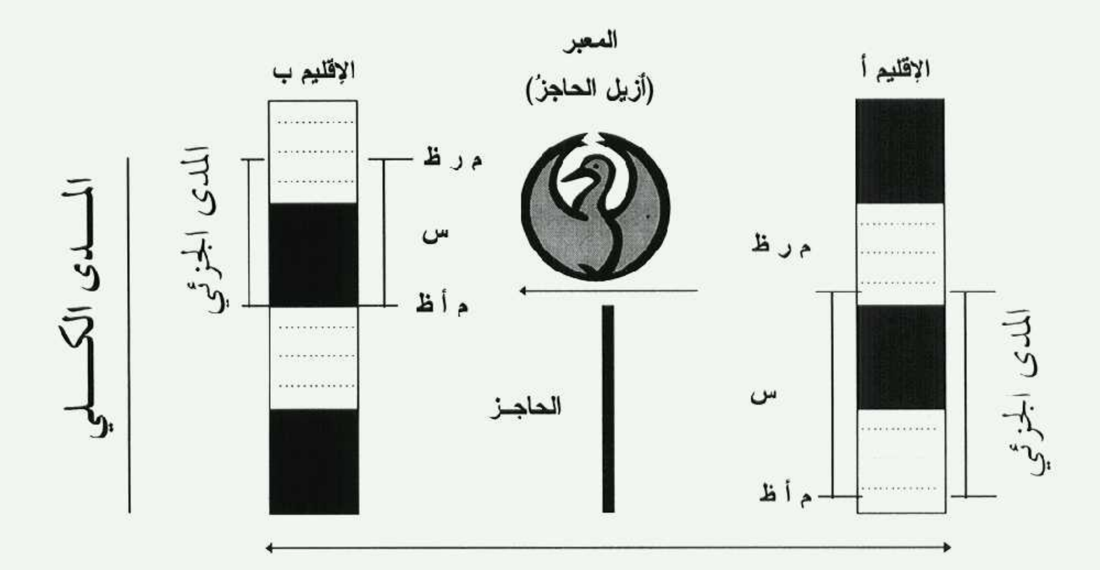
النطاق والنطاق الحياتي (Zone and Biozone) :

يمثل النطاق طبقة أو طبقات مميزة في أي تتابع طباقي، فعلى سبيل المثال هناك النطاق الحجري (Lithozone) ، ونطاق المعدن (Mineral Zone) ونطاق التحول (Metamorphic Zone) ونطاق القطبية المغناطيسية المنعكسة (Reversed Magnetopolarity Zone) والنطاق الحياتي (Biozone) كما أوردها المرشد الطباقي.

والنطاق الحياتي يمثل كل الصخور في العالم ، التي ترسبت في أثناء الفترة التي كان يعيش فيها النوع الذي يميز ذلك النطاق، أو أ ى وحدة تصنيفية أكبر أو أصغر من النوع. والجدير بالذكر أن هذا النطاق ما هو إلا وحدة معنوية ، لا يمكن في الواقع تحديدها، ولا يوجد نوع بذاته في كل صخور النطاق الحياتي. ولكن لماذا لا تملأ الأنواع كل نطقها الحياتية ؟ الإجابة ربما ترجع إلى وجود حواجز تحد أو تمنع هجرة الكائنات بين الأقاليم المختلفة أو لتغير نوع السحنات الرسوبية نتيجة لسوء حفظ الأحافير.

المدى الكلي والمدى الجزئي للنوع (Total and Partial Range of the Species) :

قد يعيش النوع محصوراً في إقليم أو منطقة ما لفترة زمنية ثم يهاجر إلى منطقة أخرى حالما تسمح له الظروف بذلك، كأن يتلاشى الحاجز الذي أحصره. وتبدأ أفراد النوع في الإستمرار في الحياة في المكان الجديد في الوقت الذي تكون الأفراد قد ماتت في المنطقة الأولى ، وهكذا يكون للكائن مدى رأسياً محلياً (Local Vertical Range) في المنطقة الأولى، ومدى آخر في المنطقة الثانية. وقد يوجد مدى ثالث وآخر رابع... إلخ في مناطق أخرى. ومحصلة ذلك تحدد المدى الكلي (Total Range) الذي يحدده أول وآخر مدى للنوع على المستوى الإقليمي أو على المستوى العالمي **(شكل ٦٩).**



شكل (٦٩) المدى الجزئي والمدى الكــلي لنوع ما وليكن النـــوع س ، حيــث يُحــدد في الإقليــم أ بمســـتوى أول ظهوره ومستوى آخر ظهوره ، وفي الإقليم ب يسجل نفس النوع مدى آخر بعـــد هجرته عقب إزالة الحاجز المتواجد بين الإقليمين. وبُناءً عليه يكون المدى الكلي للنــــوع س واقعـــاً بـــين مســـتوى أول ظهوره في الإقليم أ ومستوى آخر ظهوره في الإقليم ب. (م أ ظ مســـتوى أول أو أدنى ظهور ، م ر ظ مستوى أعلى ظهور).

رتب وحدات الطباقية الحياتية

الكود الطباقي لأمريكا الشمالية	المرشد الطباقي العالمي
	فوق نطاق
نطاق حياتي	**نطاق**
تحت نطاق حياتي	**تحت نطاق**

تسمية الوحدات الطباقية الحياتية

يحمل كل نطاق حياتي إسماً مزدوجاً يحدد نـــــوع النطاق وإسم رتبة وحدة تقســـيم (Taxon) (نوع، جنس أو وحدة عليا).

أنواع النطاقات الحـــــياتية

توجد ثلاثة أنواع رئيسية من النطاقات الحياتية وهم :

أ – نطاقات الفترة.

ب – نطاق التجمع.

جـ – نطق الوفرة.

١ – نطاقـــات الفتــرة (Interval Zones) : تمثل نطاقـــات الفتـــرة طبقـــات محـــددة بأدنـــى أوبأعلـــى ظهـــور لرتبـــة وحـــدة تقسيـــــم (Taxon) أو كليـــهما مـــعـــاً، وتشـــمل النطاقـــات التاليـــة (شكل ٧٠).

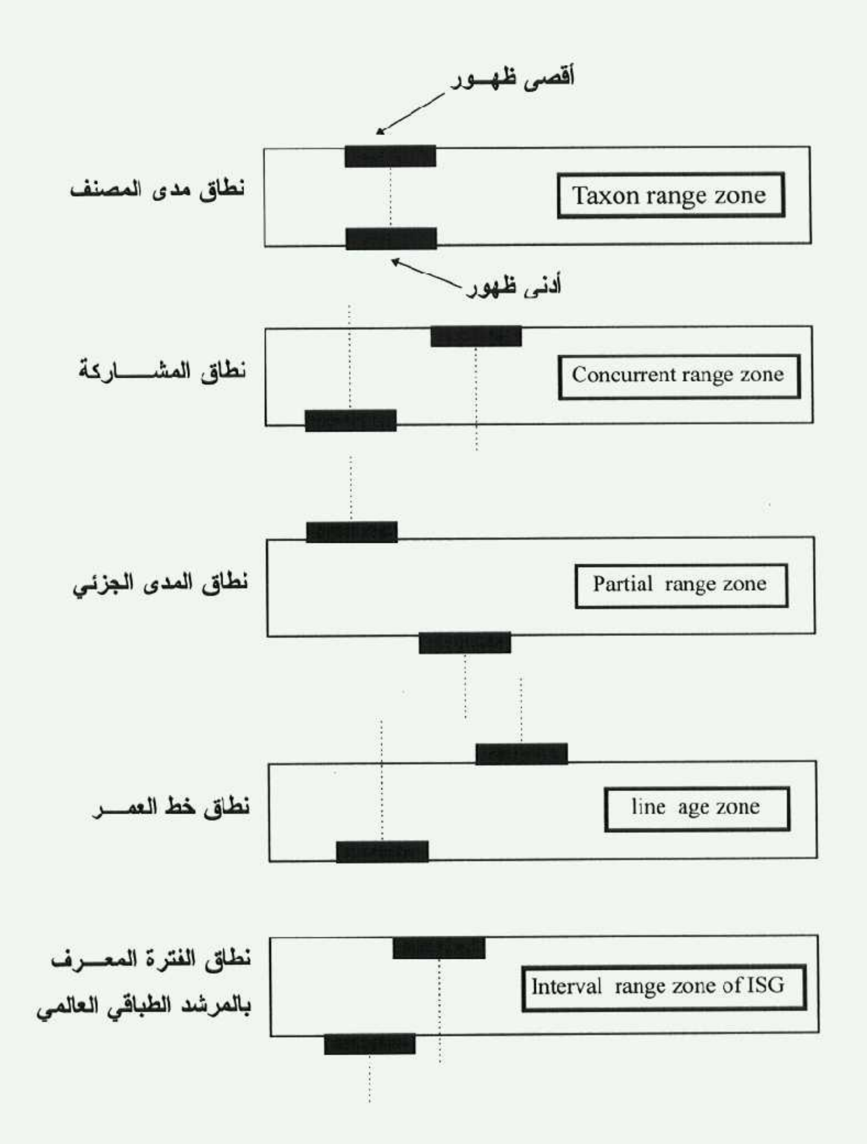
أ – نطـــاق مـــدى المصنـــف (Taxon Range Zone) : يمثـــــل طبقـــــات تحفظ أدنى وأعلى تواجـــد لوحـــدة تقســيمية واحـــدة.

ب – نطـــــاق مـــــدى المشـــــاركة (Concurrent Range Zone) : يمثـــــل طبقـــات يحدهـــا مـــن أســـفل أدنـــى تواجـــد لوحـــدة تقســـــيم (Taxon) ويحدها من أعلى أقصـــى تواجـــد وحـــدة تقســـيم أخـــرى.

جـ – نطـــاق مـــدى جزئـــي Partial Range Zone : النطـــاق يعـــــبر عــــن جســـم الطبقـــات المحصـــورة بيـــن أعلـــى تواجـــد وحـــدة تقسيـــــــم وأدنى تواجـــد وحــــــدة تقسيــــم أخـــرى.

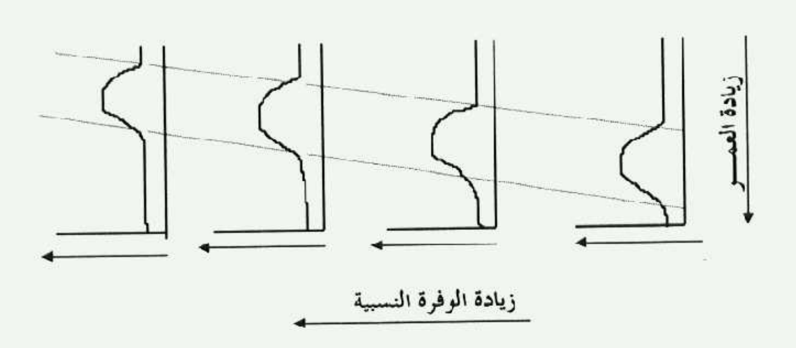
د – نطـــاق الخـــــط العمـــــري (Line Age Zone) : ويمثـــــل جســـــم طبقـــات يســـجل حدُهـــا السفلـــــي أدنـــى تواجـــد وحـــدة تقســـيم بينمـــــا يسجـــــل حدهـــا العلـــوي أدنـــى تواجـــــد لوحـــــدة تقسيـــــم أخـــــرى في إطـــار إتجـــاه تقدمـــي.

هـ – نطـــاق فتـــــرة معـــرف بواسطـــــة المرشـــــد الطباقـــــي العالمـــــــي (Interval Zone of ISG) ويمثـــــل الفـــــتـــرة بـــــــيـــن أعلـــــــى وجوديـــــن متتابعيـــــن لوحدتـــــي تقسيـــــم.



شكل (٧٠) الأنواع الرئيسة لنطاقات الفترة. تمثل الخطوط الرأسية المتقطعة مدى وحدات التصنيف ، بينمـا تمثل الخطوط الأفقية أدنى أو أعلى تواجد للمصنف الأحفوري (نوع ، جنس أو وحدات عليا).
(From North American Stratigraphic Code, 1983, P. 863. Fig. 4).

٢– نطاق الوفرة (Abundance Zone) : يعرف النطاق بوجود وفرة غير عادية لمصنــف أو أكثر ويجب توخي الحذر عند إستعمال هذا النطاق في المضاهاة الزمنية لأن وفرة نوع مـــا قد تتحقق إستجابة لظروف بيئية معينة قد تتكرر في الأزمنة المختلفة، وحينئذ يكون نطاق القمة (Acme Zone) أو الوفرة متعدد العمر (Diachronic) (شكل ٧١).



شكل (٧١) نطاق الوفرة . رسم توضيحي لنطاق الوفرة في أربع قطاعات مختلفة حيث ســجل نــوعٌ واحد أقصى وفرة له (عدد جميع الأفراد) عند أزمنة مختلفة ، بالتالي لايعطي النطاق مضاهاة زمنية حقيقية فقد يكون مخـــتَــلَف العمر.

(Modified from Boggs,1995, P. 617, Fig. 17.14)

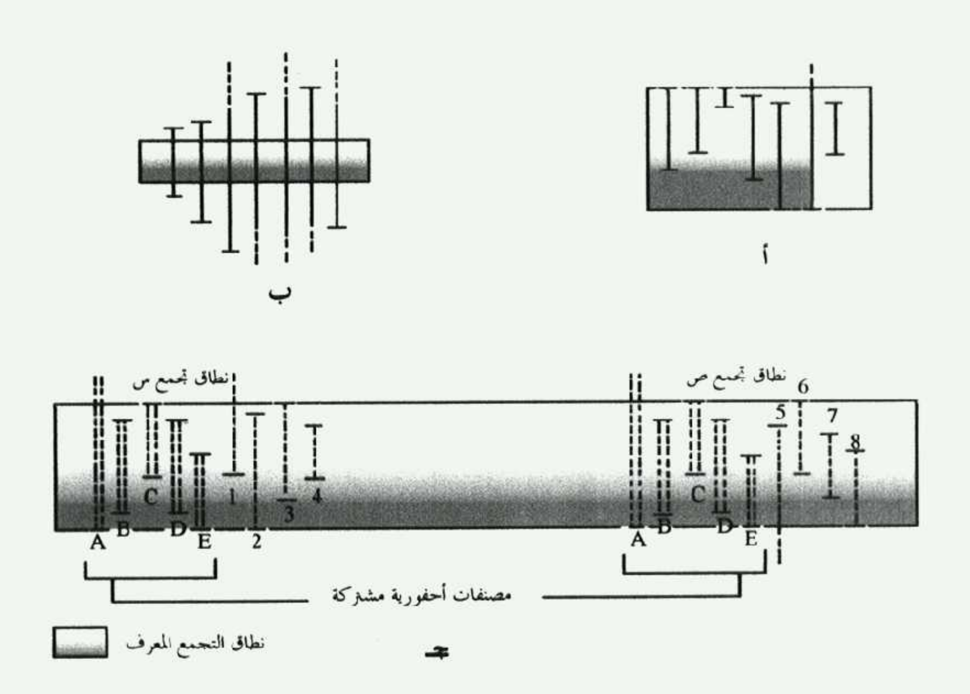
٣–نطـــاقات التجمع (Assem Zones) : وفقاً للقانون الطباقي لأمريكا الشـــمالية ، فـــإن نطاق التجمع يمثل نطاقاً حياتياً يتميز بتجمع ثلاث مصنفات أحفورية أو أكثر. وقد تســـهم كـــل الأحافير المتواجدة أو بعضها في إقامة النطاق الحياتي. والتجمعات قد تميزها حدود جغرافيـــة أو طباقية (شكل ٧٢).

وقد تتعدد أنواع نُطق التجمع وفقاً للمبادئ التي شيد على أساسها، ولذلك قد توجد الأنـــواع التالية:

١ – **نطاق تجمع أبل** (The Oppel Assemblage Zone) : نطاق تجمع يتميز بوجود أكـــثر من مصنفين أحفوريين، وتوضع حدود النطاق على أساس أول ظهور وآخر تواجـــد مصنفين أو أكثر من أحافير التجمع (شكل ٧٢–أ).

٢ – **نطاق التجمع** (The Assemblage Zone) : نطاق التجمع الذي يتكـــون مـــن طبقـــات تحتوي على تجمع أحافير بغض النظر عن حدود مداها (شكل ٧٢–ب).

٣ – **نطاق تجمع معقد (Composite Assemblage Zone) :** يؤلف من تجمعين معـاصرتين مشتركتين في بعض المصنفات الأحفورية (Fossil Taxons) (شكل ٧٢-جـ).



شكل (٧٢) أمثلة من نطاقات التجمع.

(From North American Stratigraphic Code, 1983, Page 855).

٤-مبدء التعـاقب السريع في الحـياة والمـوت (Rapid Succession of Life and Death) :

في عمليـة المضاهـاة الطباقية وفي التأريخ الزمني النسـبي تسـتخدم بنجـاح باهـر مجموعـات الأحافير التي تنتهي فتـرة دوامها على الأرض بسرعـة. فلو أخذنا على سـبيل المثال الأمونيات الثلاثة (شـكل ٧٣) : البـاراهوبلتيدا (Parahoplitidae) والديشايزايتيـدا (Deshayesitidae) والدوفيي سيراتيدا (Douvilleiceratidae) لوجدنـا أن فـتـرة ديمومتـها قصيرة جداً وتقدر بحوالي سـتة ملايين سنة هي عمر الأبتي (Aptian Age) ، وقـد عاشـت وماتت العائلات السابقة في أثنـاء الأبتي والالبي المبكر بإستثناء جنس(*Douvilleiceras*) الذي إستمر في الألبي المبكر.

DOUVILLEICERATACEAE
DOUVILLEICERATIDAE
Douvilleiceras
Eodouvilleiceras
PARAHOPLITACEAE
PARAHOPLITIDAE
Hypacanthoplites
Acanthohoplites
Diadochoceras
Parahoplites
Colombiceras
Gargasiceras
Procolombiceras
DESHAYESITACEAE
DESHAYESITIDAE
Dufrenoya
Deshayesites
Epicheloniceras
Cheloniceras
Procheloniceras
Turmeniceras

المرحلة Stage	تحت المرحلة Substage	النطاق Zone
الألبي (Albian)	السفلى (Lower)	*mammillatum*
		tardefurcata
الأبتي (Aptian)	العلوي (Upper)	*jackobi*
		nolani-nodosocostatum
	الأوسط (Middle)	*melchioris*
		crassicostatum-sub nodosocostatum
	السفلى (Lower)	*furcata*
		deshayesi
		weissi-albrechtiaustriae
		turkmenicum-ridzewskyi
الباريمي (Barremian)		

شكل (٧٣) التعاقب السريع لبعض أمونيتات الأبتي (الطباشيري السفلي)،شمال القوقـــاز. (عـــن حمامـــة ١٩٨٥م).

وقد ظهر في تلك الفترة ما يقرب من خمسة عشر جنساً بادت تباعاً في أثناء الأبتي وأمكـــن بواسطتها تقسيم الأبتي إلى ثمانية نطق حياتية (شكل ٧٣).

٥- الأنـــمـــــاط البيئــــية :

تستخدم الأحافير في تحديد زمن أقصى تقدم للبحر عن طريق توزيع الأحافير في الطبقـــات المتعاقبة بإستخدام الأحافير الدقيقة التي ترسم خطاً زمنياً (Time Line) يمر بين أعمق النقـــاط ويمثل الخط زمن أقصى تقدم للبحر .

٦- الطــرق الكميــة للمضـــــاهاة (Quantitative Correlation Methods) :

أ – الطــــريقة البيـــــانية (Graphic Correlation Technique) : صمـــم ألان ب. شو (Alan B. Shaw) تقانة بيانية إحصائية للمضاهـــاة الحياتيــة عــن طريــق إســتخدام معلومة مفصلة عن مجموعة قطاعات محليــة غنيــة بالأحــافير ويمكــن وصــف الطريقــة في النقاط التاليــة :

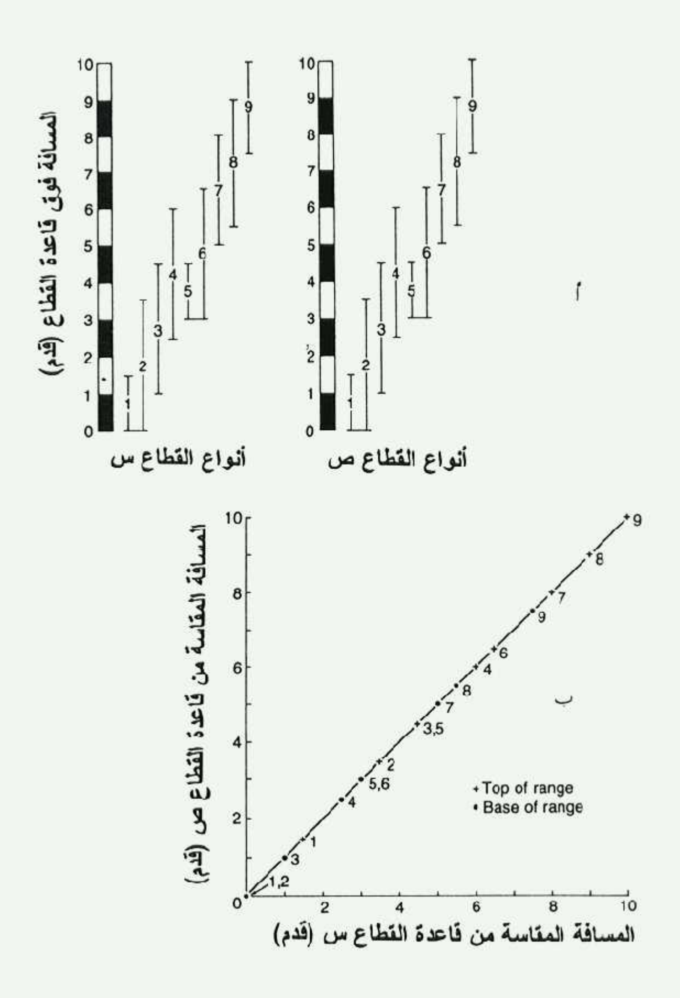
١ – يستخدم أحـــد القطاعـــات المحتويـــة علـــى أحـــافير كمقيـــاس (Standard) ، وتسجل بدقة مستوى أول ظهور ومستوى آخـــر ظـــهور لكـــل نـــوع متواجـــد خلال القطاع وتمثل المعلومات على المحـــور الأفقـــي س.

٢ – تمثل بيانات القطاع الآخر بنفس الطريقـــة الســـابقة علـــى المحـــور الرأســـي ص. وتمثل وحدات كل من المحوريـــن الســـابقين مقاســـة بـــالقدم أو بـــالمتر إبتداءً من قاعدة كل قطاع حتى قمتـــه (شـــكل ٧٤)

٣ – إذا كانت الأنواع في القطاعين متماثلـــة فســـوف تتجمـــع نقـــط التمثيـــل عـــبر خط يســـمى خـــط المضاهـــاة (Line of Correlation). ويميـــل هـــذا الخـــط المستقيم بزاوية ٤٥° على كـــل مـــن المحوريـــن. ويلاحـــظ أن زاويـــة ميـــل خط المضـــــــاهاة سوف تتغـــير كلمـــا تغـــير معـــدل التجمـــع الصخـــري (Rock Accumulation) (ليـــــس تجمـــــع الراســــــب Sediment Accumulation).

٤ – بمجرد تحديد خط المضاهاة سوف يكون مـــن الممكـــن مضاهـــاة نقـــط دقيقـــة من أحد القطاعات بـــالآخر.

٥ – سوف تزداد دقة المضاهاة كلمـــا تجمعـــت معلومـــات فـــي القطـــاع المثـــالي لمقارنة قطاعات محلية أخرى ويصبـــح قطاعـــاً مثاليـــاً مركبـــاً (Composite Standard Section) يزيد من قوة مضاهـــاة القطاعـــات الجديـــدة.



شكل (٧٤) استخدام الطريقة البيانية في المضاهاة الطباقية الحياتية باستخدام معلومات مفترضة حيث يبدو مدى الأنواع التسع متماثلة تماماً في القطاعين المتخيلين. أ- توضيح المدى الرأسي للأنواع في القطاعين ب- تمثيل بياني في قاعدة وقمة مدى كل نوع في القطاعين.

(Modified from Shaw, A. B., 1964. by McGraw Hill Book Company)

تمـــــرين

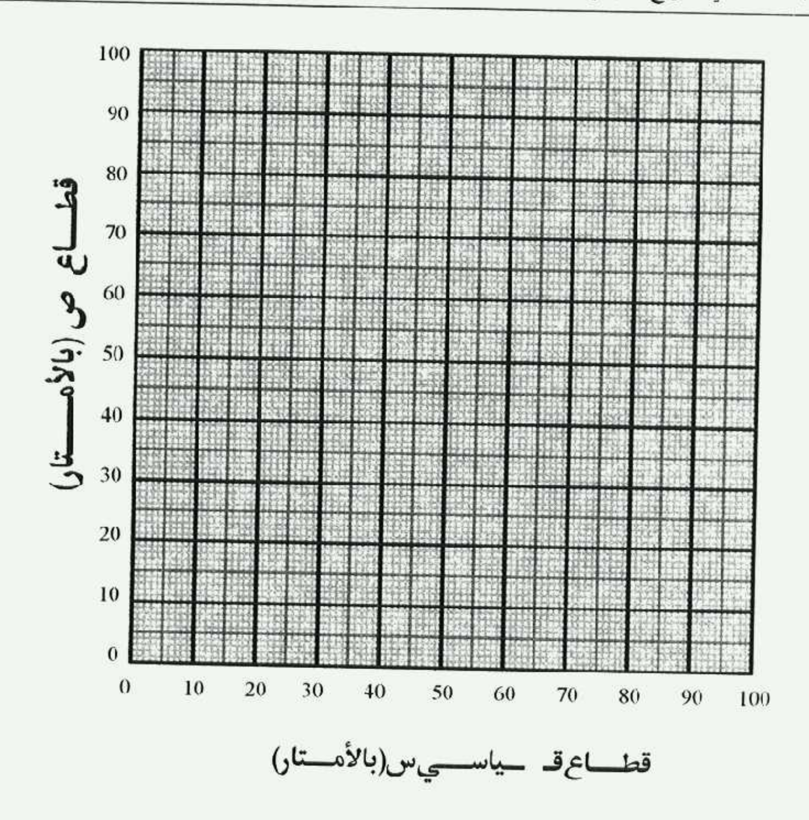
إستخدم المعلومات الطباقية (جدول ١٧) في تمثيل بداية ونهاية ظهور للأنواع مـــن أ إلى س بإســـتخدم ورقـــة الرسم البياني المعطاة (شكل ٧٥) وذلك بالنسبة للأجزاء الثلاثة من الجدول أ ، ب ثم جـــ كلُ على حدة ثم فســـر إختلاف ميل خط المضاهاة في كل حالة.

جدول (١٧) البيانات المستخدمة في حل التمرين. (From Petersen and Rigby, 1990, P. 115, Table 13)

	البداية		النهاية			البداية		النهاية			البداية		النهاية	
	أ					ب					جـ			
النوع	س	ص	س	ص	النوع	س	ص	س	ص	النوع	س	ص	س	ص
أ	١٥	٥	٤٩	٢٣	أ	١٤	٢٠	٤٢	٥٠	أ	٥	١٤	٦٨	٧١
ب	٢١	١٤	٩٤	٥٣	ب	٦	٦	٤٧	٥٠	ب	٤	٥	٤٠	٥٠
ت	٢٧	١٢	٩٩	٥٨	ت	٢١	٢٥	٣٦	٤٧	ت	١٥	٢٤	٥٠	٥٨
ث	١٦	١٠	٨٠	٤٧	ث	١٥	١٣	٨٠	٥٠	ث	٢٥	٣٤	٤٦	٥٣
ح	٣٢	١٨	٨٣	٥٤	ح	٢٢	٣٣	٨٥	٥٨	ح	٢٦	٣٨	٧٧	٧٣
خ	٤٢	٢٨	٩١	٦٣	خ	٣٢	٣١	٩٠	٥٤	خ	٣٣	٤٧	٥٦	٥٩
د	٥٤	٢٤	٦٨	٣٨	د	٧	١٤	٧٥	٥٠	د	٣٢	٤٢	٧٠	٦٨
ذ	٥٣	٣٤	٧٩	٥٨	ذ	٢٥	٢٦	٨٢	٥٣	ذ	٣٧	٥٠	٥٨	٦٤
ر	٥٧	٣٢	٦٨	٥١	ر	٧٠	٥٠	٩٠	٦٣	ر	٤٥	٥٥	٧٧	٧٧
ز	٦٩	٣٤	٨٥	٤٣	ز	٣٦	٤٠	٨١	٥٢					
س	٤٣	٢٣	٨١	٥١	س	٤٠	٤٧	٨٦	٥٣					

ب- إستخدام الإحصاء متعدد الاحداثيات (Use of Multivariate Statistics) :

حيث أستخدمت تقانات مختلفة ضمت تحليل التجمع (Cluster Analysis) وتحليل المركبات الرئيسية (Principle Components Analysis) وتحليـــل الإحداثيـــات الأساســـية (Principal Coordenates Analysis) والقياس المتعدد الإتجاه (Multidimentional Scalling) (للمزيد راجع هاربر (Harper) "١٩٨١م" وإدوار (Edwards) "١٩٨٢م").



شكل (٧٥) لوحة توضيح استخدام الطريقة البيانية في المضاهاة الحياتية للبيانات المعطاة في جدول ١٤.

أقـــاليم الكـــائنات (Faunal Provinces) :

توجد عدة أقاليم حياتية تسكنها كائنات محددة تميز كل إقليم عن الآخـــــر. فكائنـــات إقليـــم التيش (Tethyan Province) الإستوائي تختلف تماماً عـــن كائنـــات إقليـــم بوريـــال (Boreal Province) البارد. وتعتمد إقليمية الكائنات على درجة قابليتها للحركة، وعلى درجـــــة تقطيـــع القارات. فعلى سبيل المثال لا الحصر، وجد كندي وكوبـــان (Kennedy And Kobban) عـــام ١٩٧٧م أن الأمونيتات تتواجد في خمسة أقاليم هي :

١ – عالمية الإنتشـــــــــــــار (Panademic).

٢ – مقيدة بخطوط العرض المناخية (Latitudinally Restricted).

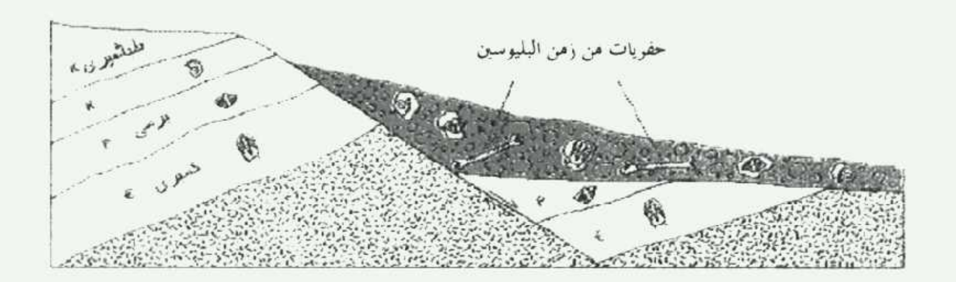
٣ – مقيـــدة بخطـــــوط الطـــــول (Endemic).

٤ – مشتقـــة (Disyunt).

٥ – منقولـــة (Nerotic).

ومما يلزم التأكيد عليه التوضيح بأن تجمع الأحافير المستخدمة في الطباقية الحياتيـــة يجـــب أن تكون ممثلة لـــنفس الفترة الزمنية للصخور الحاوية عليها، لأنه قد توجد على سبيل المثال أحـــافير من البرمي والطباشيري في صخور البليوسين (شكل ٧٦).

ويتبـــع ذلك ضرورة التأكيـــد على عـــدم إزدواج أعمـــار السحنـــة الواحـــدة فـــي أكثـــر مـــن منطقة. وينبغي أيضاً تمييز التجمعات الأحفورية المنقولة من غـــير المنقولـــة ، فالتجمعـــات المنقولة قـــد تبـــدو أكثر تصنيفاً حيث تكون ممثلة بمنحنى تواتـــر ذو حيود متمـــاثل. وتستخـــدم بعض الشواهـــد للتفريق بين التجمع المنقولة من غيرها ، مثـــل نســـبة المصـــراع الأيمـــن إلـــى المصراع الأيسر في المحار وكذلك درجة التحول الكيميائي والإستـــدارة وغيرها.



شكل (٧٦) مثال لتجمعات الأحافير المنقولة. تمثل أحافير ثلاثيات الفصـــوص وعضديـــات الأرجـــل (أو المسرجيات) والأمونيتات الموجودة في رواسب البليوسين أحافير منقولة من صخـــور الكمـــبري والـــبرمي والطباشيري.

(From Cooper *et al.*, 1990, Page 146, Fig. 5.13).

الطباقيـــة الحياتيـــة وجغرافيـــة الكائنـــات القديمـــة (Biostratigraphy and Paleobiogeography) :

يدرس فرع الجغرافيا الحياتية القديمة (Paleobiogeography) التوزيع الجغرافي للحيوانـــات والنباتات القديمة. وقد أكسبت نظرية ألواح الغلاف الصخري هذا الفرع إطاراً جديداً لتوزيـــع الكائنات على الأرض في زمان أبد الحياة الظاهرة. وتوجد عدة ظواهـــر تؤثـــر فـــي توزيـــع الكائنات القديمة وقد يمثل كل منها مشكلة بالنسبة للطباقية الحياتية، وهذه العوامل هي:

١ – تحكم السحنـــات في توزيع الكائنات (Facies Control).

٢ – أقاليـــم الكائنـــات (Faunal Provinces).

٣ – تجمعـــات الأحافيـــر المنقولـــة (Reworked Assemblages).

في الوقت الذي تتكيف فيه بعض الكائنات البحرية مثلاً مع حياة القاع ، نجد أن كائنات بحرية أخرى تعيش عالقة أو سابحة في الماء. وكثيرٌ من القاعيات (Benthos) تتحكم السِحنات في توزيعها وإنْ كان البعض منها يمتلك طوراً هائماً يمكنه من الإنتشار في أكثر من بيئة. ونظراً لهشاشة بعض الكائنات ذات الأهمية لعلم الطبقات كالخطيات (Graptolites) ، فإننا نجدها تعتمد على السِحنات في حفظها النادر. وقد يؤدي التحكم السحني في توزيع الكائنات إلى إزدواجية في أعمارها. والمثل التالي يوضح الإختلاف في العمر لتجمعات متعاقبة من الأحافير ، فقد وجد أن نفس تجمع المسرجيات (أو عضديات الأرجل) من الأوردوفيشي العلوي حتى السيلوري المتوسط تختلف أعمارها في أكثر من قطاع ، وفي أكثر من منطقة. وقد روجعت هذه الأعمار بإستخدام الخطيات وقد لاحظ العالم زجلر أن تعاقب تجمعات المسرجيات (أوعضديات الأرجل) من أسفل إلى أعلى والمكونة من *Clorinda* وإلى *Stricklandia* و *Pentamerus* وأخيرا *Lingula* تختلف أعمارها من مكان الى مكان آخر.

المضاهاة الحياتية (Biocorrelation) :

تعريف المضاهاة الحياتية : تعبر المضاهاة الحياتية عن التشابه في المحتوى الأحفوري والوضع الطباقي ، ومع بعض التحفظات فإن المضاهاة بواسطة الأحافير قد تعني التكافؤ الزمني للوحدات الطباقية المتباعدة.

تتم المضاهاة الحياتية بعدة طرق من أهمها ما يلي :

١– المدى الطباقي والنطق (Stratigraphic Ranges and Zones) :

حيث يتم توزيع الأحافير رأسياً في القطاعات المحلية ، سواءً السطحية منها أو التحت سطحية. ويتم ذلك عملياً عن طريق قياس القطاعات ، ووصفها وصفاً واضحاً يظهر أهم التغيرات الحجرية ، ويتم جمع العينات ، وتحدد مواقع عينات الأحافير التي جمعت على العمود الطباقي (Stratigraphic Column) المرسوم، وبعد ذلك يمكن رسم لوحة توزيع مدى أنواع الأحافير (Stratigraphic Range) حيث يظهر على اللوحة أدنى تواجد وأعلى تواجدات للمصنفات الأحفورية (شكل ٧٧).

٢– النسبة المئوية لمصنفات الأحافير الشائعة (Percentage of Common Taxa) :

تتم المضاهاة عن طريق مقارنة تجمعات الأحافير المحلية بتجمعات قياسية (Standard Assemblages) لأقاليم دُرِسَت فيها العلاقات الطباقية على وجه طيب،

حيث يمكن عقد المضاهاة الطباقية من التشابه في أعداد التقسيمات الأحفورية (غالباً النوع) بين التجمعات المحلية والتجمعات القياسية.

٣- الظواهر الشكلية (Morphologic Features) :

تستخدم في المضاهاة الحياتية بعض الظواهر الأحفورية مثل التغيرات الشكلية ، كانعكاس إتجاه اللَّف في المُنَخْرَبات ، أو إختفاء عناصر جديدة في خطوط الدَّرْز وتغير عناصر الزخرفة في الأمونيتات. فلو أخذنا على سبيل المثال ، تغير إتجاه اللف في جنس جلوبوروتاليا *Globorotalia* في العينات اللُبّية المأخوذة من تحت قاع البحر فسوف نجد أنه يعكس برهة في تاريخ الأرض من الممكن أن تسهم كحدث (Event) في المضاهاة الطباقية.

٤- الأحافير المرشدة (Guide Fossils) :

يمكن القول أن جميع الأحافير تفيد في المضاهاة الحياتية ، ولكن القليل منها هي التي تلعب دوراً هاماً في تقدير الأعمار النسبية للصخور ، وفي عملية المضاهاة الطباقية ، خاصة المضاهاة على المستوى العالمي وبين الأقاليم المختلفة (شكل ٧٨).

ومن بين الأحافير ، تستخدم العوالق والسوابح بنجاح كبير في المضاهاة نظراً لإنتشارها الكبير. وتسمى الأحافير ذات القيمة الطباقية بالأحافير المرشدة (Index Fossils) وهي تتميز بعدة صفات أهمها :

١ – أنْ تتواجد بوفرة معقولة.

٢ – أنْ تتميز بانتشار جغرافي واسع.

٣ – أنْ يكون مدى أعمارها، (أي الفترة بين ظهورها وهلاكها) قصير.

٤ – أنْ تمثل بيئات مختلفة.

٥ – أنْ يسهل التعرف عليها ، وهذا يستلزم حِفْظها في الصخور حفظاً جيداً.

ونذكر بعض الأمثلة للأحافير المرشدة مثل ثلاثيات الفصوص في الكمبري، والخطيات في كل من الأوردوفيشي والسيلوري والديفوني المبكر، وشبيهات الأسنان في الأوردوفيشي والديفوني والمسيسيبي والترياسي، والأمونيتات في الديفوني وحتى نهاية العصر الطباشيري والفيوزلينا في البنسلفاني والبرمي وعوالق المُنَخْرَبات في الثالثي.

الليثولوجيا
التكوينات
العمر
نطاق حياتي
المنخربات العالقة

1 5 10 15 20 25 28
5 15 25 35 45 55 65 75 85 m

صدر
إسـنـا
طيبة

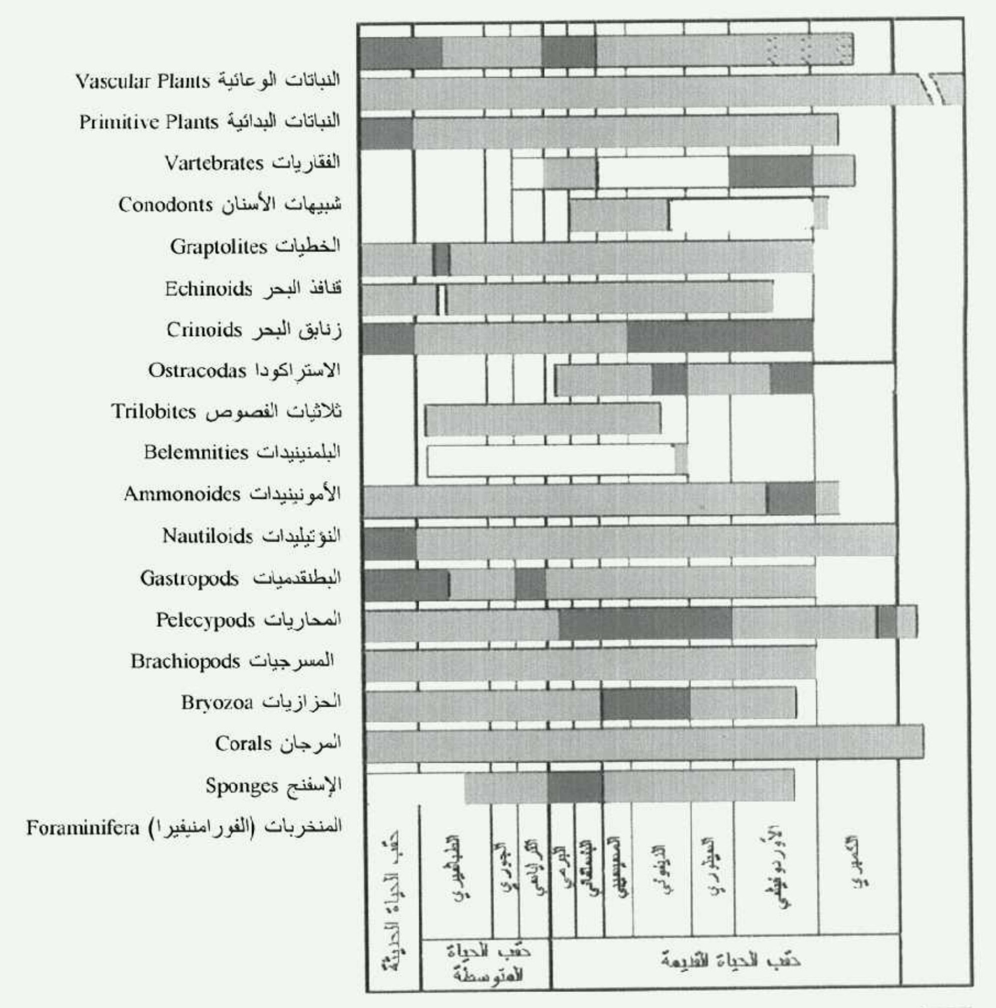
Maastrichtian
ثانيتي
إبريزي

سنوني
باليوسين متأخر
ايوسين مبكر

Gansserina gansseri
Abathomphalus mayaroensis
Planorotalites pseudomenardii
Morozovella velascoensis
Morozovella edgari
Morozovella subbotinae
Morozovella formosa formosa

Pseudoguembelina costulata
Globotruncana arca
Heterohelix striata
Rugoglobigerina rugosa
Pseudotextularia elegans
Globotruncana aegyptiaca duwi
Rugoglobigerina hexacamerata
Rugoglobigerina reicheli
Gansserina gansseri
Racemiguembelina fructicosa
Abathomphalus mayaroensis
Globigerina triloculinoides
Morozovella angulata
Morozovella conicotruncata
Acarinina mckannai
Globigerina velascoensis
Planorotalites chapmani
Acarinina primitiva
Morozovella acuta
Planorotalites pseudomenardii
Morozovella velascoensis
Morozovella aequa
A. soldadensis soldadensis
A. nitida
Globigerina linaperta
Morozovella edgari
Pseudohastigerina wilcoxensis
Morozovella subbotinae
Morozovella quetra
Morozovella marginodentata
Morozovella formosa gracilis
Morozovella formosa formosa

A = Acarinina



حفريات مرشدة تستخدم في تحديد النطق الحياتية على المستوى العالمي

حفريات تستخدم في الطباقية الحياتية والمضاهاة على المستوى الإقليمي

حفريات محدودة الأهمية من الناحية الطباقية والمضاهاة

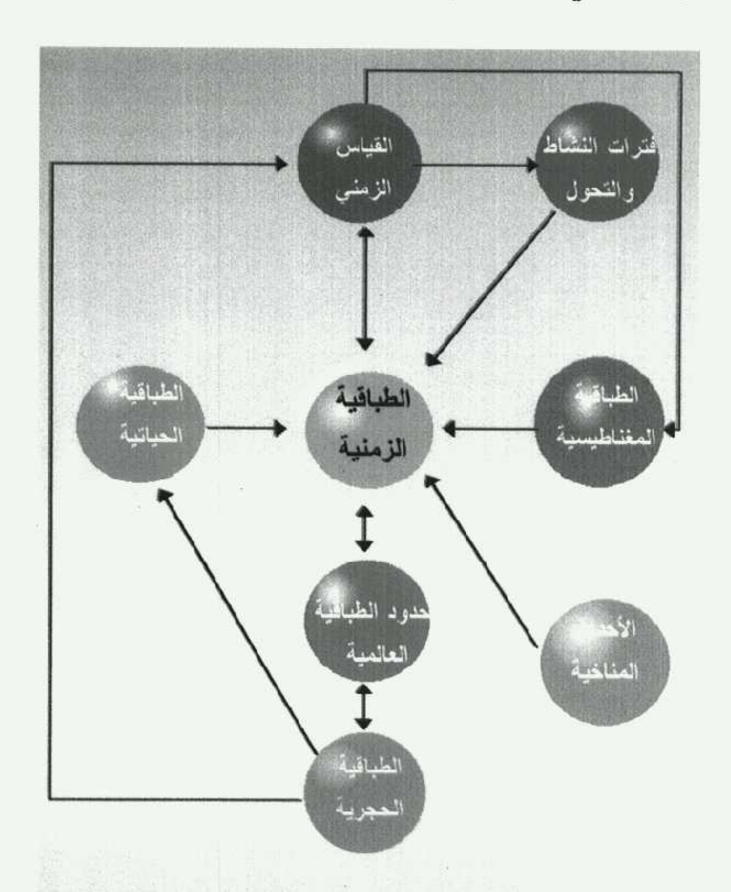
شكل (٧٨) المدى الزمني لمجموعات أحافير اللافقاريات وأهميتها في الطباقية الحياتية والمضاهاة الطباقية.
(After Teichert, 1958).

الفصل الثاني عشر

الطباقية الزمنية

(Chronostratigraphy)

• وحدات الطباقية الزمنية
• وحدات الطباقية القطبية الزمنية
• الوحدات مختلفة التقويم
• طرق التقويم الزمني باستخدام النظائر
• وحدات الأزمنة الأرضية
• وحدات العمر الأرضي
• معايرة مقياس الزمن الأرضي
• طباقية الحدث ومضاهاة الأزمنة



(Modified from Prothero, D. R., 1990 by W. H. Freeman & Company, P. 298, Fig. 13.1)

تقسيم طبقات الأرض على أساس من أعمارها الزمنية

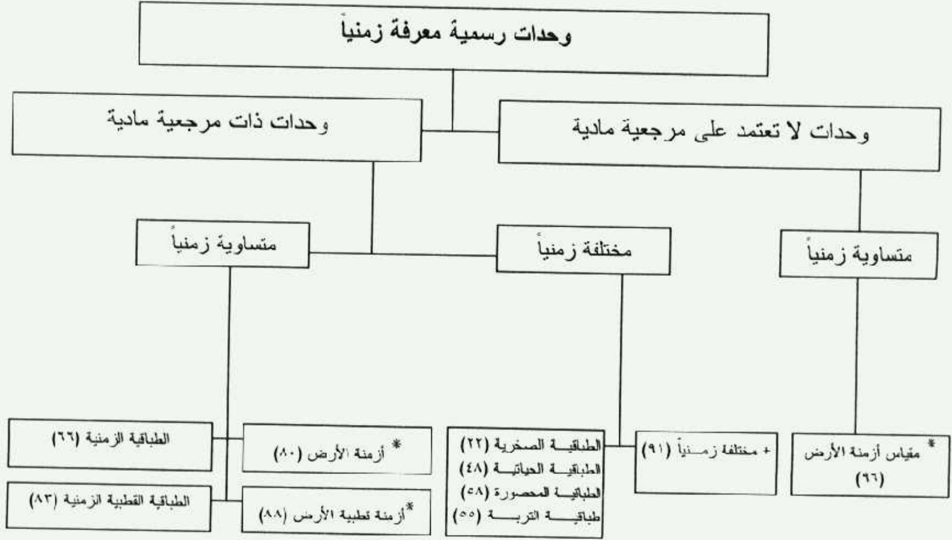
(الطِباقية الزمنية)
(Chronostratigraphy)

تعرف الطباقية الزمنية (Chronostratigraphy) وفقاً للمرشد الطباقي العالمي (International Stratigraphic Guide) على أنها (عنصر الطباقية الذي يعالج عمر الطبقات وعلاقاتها الزمنية). وبناء على ذلك التعريف فإن التقسيم الطباقي الزمني (Chronostratigraphic "Chronostratic" Classification) هو (تنظيم طبقات الصخر في وحدات على أساس عمرها أو زمن نِشأتها).

تعريف المعاصرة الزمنية (Synchronism) : يقال سطح مساواة زمنية (Isochronus Surface) إذا ما تكون السطح حيثما كان في نفس الوقت، ومن هنا فإن المعاصرة الزمنية تعني المساواة في العمر بين أسطح أو وحدات صخرية تكونت في نفس الفترة الزمنية مهما تباعدت المسافات بينها.

تعريف المساواة الزمنية (Isochronism) : تعني المساواة في الإستمرارية الزمنية، وعادة ما يستخدم المصطلح في الطباقية ليشير إلى الأجسام الصخرية التي تكونت أثناء نفس الفترة الزمنية. والفترة هذه تحدها مستويات زمنية معاصرة. وعلى هذا فإن وحدات الزمن مختلفة التقويم (Diachronic) لا تعد وحدات طباقية زمنية لأنها لا تحدها مستويات معاصرة زمنياً ، علاوةً على أنها ليست متساوية زمنياً ، بل إن حدودها تتقاطع مع الحدود الزمنية.

وحدات الزمن الأرضي : وحدات الزمن الجيولوجي هي وحدات معنوية (Conceptual Units) أكثر من كونها وحدات مادية (Material Units). ويمكن التعرف على نوعين واضحين لوحدات طباقية رسمية (Formal Stratigraphic Units) يمكن تمييزها بواسطة العمر وهما وحدات لاتعتمد على مرجعية مادية ووحدات ذات مرجعية مادية: (شكل ٧٩).



* متداولة عالميا.
+ متداولة حيثما تتواجد مرجعية مادية
( ) رقم الفقرة في مجموعة القواعد.

شكل (٧٩) الوحدات الزمنية الرئيسية وعلاقتها بأنواع المرجعية الصخرية التي شيدت على ضوئها. (بعـد لجنة التسمية الطباقية لأمريكا الشمالية، ١٩٨٣م ومجموعة القواعد الطباقية لأمريكا الشمالية. مجلة جمعيـة جيولوجى النفط الأمريكية. المجلد **٦٧**، شكل ١٠، صفحة ٨٥٠).

وحدات الطبـاقية الزمنية (Chronostratigraphic Units) :

تعرف وحدة الطباقية الزمنية على أنها جسمٌ صخري ذو عمر واحد (Isochronus) حيثمـا وجدت، وتستخدم كمرجع مادي لكل الصخور التي تكونت في نفس الفترة من الزمن. وتعـرف حدودها في قطاع نموذجي (Stratotype) أو قطاع نوعي (Type Section) . والوحدة تلك دائماً ما تستند إلى مرجع هو في الواقع قطاع صخري ، إلا أن تحديدها يمكن إرتكازه أيضاً علـى فترة زمنية لوحدة الطباقية الحياتية (Biostratigraphic Unit) أو وحدة صخـرية أو وحـدة مغناطيسية قطبية (Magnetopolarity Unit) أو أي شكل آخر لسجل الصخر له مدى زمني.

رتب الوحدات الطبـاقية الزمنية (Hierarchy of Chronostratigraphic Units) :

من أجل الوصول إلى وحدات الطِباقية الزمنية الحالية ووحدات الزمن الأرضي فقـد مـر تطور تقسيم النظام الطِباقي إلى وحداته الزمنية والطِباقية المختلفة بعدة مراحل تم إقرارها فـي عديد من مؤتمرات علوم الأرض العالمية (جداول ١٨-٢٢).

جدول (١٨) : رتب وحدات الطباقية الزمنية ووحدات الزمن الأرضي (Chronostratigraphic and Geochronologic Units).

رتب الوحدات الطباقية الزمنية	رتب وحدات الزمن الأرضي
صخر الزمان Eonothem	الزمان Eon
صخر الحقب Erathem	الحقب Era
النظام System	العصر Period
النسق Series	العهد Epoch
المرحلة Stage	العمر Age
نطاق الأوان Chronozone	الأوان Chron

جدول (١٩) : تقسيم الوحدات الطباقية التي أقرها المؤتمر العالمي لعلوم الأرض في عام ١٨٨١م.

المصطلح الزمني (Chronologic Term) (فترة زمنية)	المصطلح الطباقي (Stratigraphic Term) (قطاع الصخر)
الحقب Era	مجموعة Group
العصر Period	النظام System
العهد Epoch	النسق Series
العمر Age	المرحلة Stage

جدول (٢٠) : تقسيم الوحدات الطباقية كما أقرها مؤتمر علوم الأرض عام ١٩٠٠م.

المصطلحات الزمنية	المصطلحات الطباقية
الحقب Era	-
العصر Period	النظام System
العهد Epoch	النسق Series
العمر Age	المرحلة Stage
الطور Phase	النطاق Zone

جدول (٢١) : تقسيم الوحدات الطباقية المعتمدة بمجموعة القوانين الطباقية عام ١٩٣٣م

الأقسام أو الزمن الأرضي	الأقسام أو الوحدات الصخرية
الحقب Era	-
العصر Period	النظام System
العهد Epoch	النسق Series
العهد Epoch	المجموعة Group
العهد Epoch	التكوين Formation
العهد Epoch	العضو، العديسة، اللسان التكوين Member, Lentil, Tongue
-	الطبقة Bed, Stratum, Layer

وفيما يلي نعـرف بإيجـاز وحـدات الطباقيـة الزمنيـة كمـا وردت فـي المرشـد الطباقـي العالمـي (١٩٧٦م) :

صخر الزمان (Eonothem) : يمثل أعلى مرتبة من مراتب وحدات الطباقية الزمنية. ويضم صخر زمانين هما:

١- صخر زمان الحياة الظاهرة (Phanerozoic Eonothem) والذي يضم صخـر أحقـاب (Erathems) الحياة القديمة والمتوسطة والحديثة.

جدول (٢٢) : تقسيم الوحدات الطباقية الذي إقترحه كلٌ مـن شـنك ومولـر Schenck and Muller (١٩٤١م)

وحدات الزمن الجيولوجي Geologic Time Units	وحدات طباقية زمنية Time Stratigraphic Units	وحدات طباقية صخرية Rock Stratigraphic Units			
		الطبقة Bed	العضو Member	التكوين Formation	المجموعة Group
Era الحقب	–				
Period العصر	System النظام				
Epoch العهد	Series النسق				
Age العمر	Stage المرحلة				
–	Zone النطاق				

٢- صخـر زمـان الحيـاة الخفيـة (Cryptozoic Eonothem) أو مـا قبـل الكمـبري (Precambrian Eonothem). وإن كان هناك توصية بتقسيم هذا الزمان إلـى فـترتين أقدمهما زمان الأركي (Archean Eonothem) وأحدثهما صخر زمان طلائع الأحيـاء (Proterozoic Eonothem).

صخر الحقب (Erathem) : يمثل تقسـيمات صخر الزمان (Eonothem). وقـد قسم وفقاً لأنواع الحياة إلى صخر حقب الحياة القديمة وصخر حقب الحياة المتوسطة وصخـر حقب الحياة الحديثة. وليس هناك إتفاق عالمي على تقسيمات زمان الحياة الخفية.

النظام (System) : يمثل النظام الوحدة الأساسية في وحـدات الطباقيـة الزمنيـة ويحتـل المرتبة التالية بعد صخر الحقب وهي وحدة مقبولة عالمياً. ويمكن تقسيم النظام إلـى وحـدات أقل تسمى النسق (Series) وفي بعض الحالات يقسم النظام إلى تحت أنظمـة (Sub-systems) أو تُضَم الأنظمة في فوق نظام (Super-system).

ونورد بعض الملاحظات عن الأنظمة الجيولوجية فيما يلي :

١ – من المقبول عالمياً إعتبار السيلوري عصراً يشتمل على ما بعد الأوردوفيشي، إلا أنه في بعض أجزاء القارة الأوروبية فإن السيلوري يستخدم بمعناه الواسع ليضم الأوردوفيشي (Ordovician) والجوثلاندي (Gothlandian).

٢ – يقسم الكربوني (Carboniferous) إلى نظامين وهما المسيسيبي (Mississippian) والبنسلفاني (Pennsylvanian) وذلك في أمريكا الشمالية فقط.

٣ – هناك من يعتقدون أن البرمي يمثل جزءاً من الكربوني ويطلقون عليه "البرمو–كربوني" (Permo-Carboniferous). وغالباً مايحدث هذا نظراً لصعوبة الفصل بين صخور البرمي والكربوني أو من يضعونه بين نظامي البرمي والترياسي ويسمونه "البرمو–ترياسي" (Permo-Triassic).

٤ – أنظمة صخر حقب الحياة المتوسطة (Mesozoic Erathem) الثلاثة الترياسي والجوري والطباشيري مقبولة عالمياً.

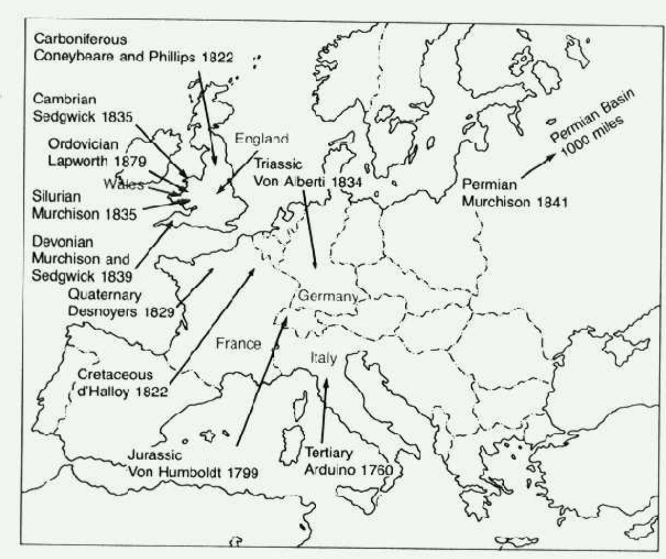
٥ – بالنسبة لصخر حقب الحياة الحديثة (Cenozoic Erathem) فالشائع تقسيمه إلى نظامي الثالثي (Tertiary) والرابعي (Quaternary) وذلك في كل من أمريكا الشمالية وأوروبا وإن كان شائعاً في فرنسا تقسيم الثالث إلى نظامي الباليوجين (Paleogene) أو النميوليتي (Nummulitic) والنيوجين (Neogene).

٦ – غالباً ما يقال أن الأنظمة الشائعة القبول التي عرفت في نصف الكرة الشمالي تعد أقل ملاءمة في نصف الكرة الجنوبي ، فالبرغم من أنها تستخدم بدون صعوبات كبيرة في أستراليا وأمريكا الجنوبية ، إلا أنه في جنوب ووسط أفريقيا حيث توجد رواسب كبيرة غير بحرية يصعب تصنيفها وفقاً لمقياس النظام العالمي للزمن خاصة في تتابع كارو (Karro Sequence) (الكربوني حتى الجوري) وتتابع كالهاري (Kalahari Squence) (حقب الحياة المتوسط – حقب الحياة الحديثة). وتوجد نماذج العصور الأرضية في أوروبا الغربية فيما عدا نموذج عصر البرمي الذي يقع في روسيا (شكل ٨٠). ويعطي جدول (٢٣) فكرة وجيزة عن منشأ وتسمية العصور الأرضية المقبولة عالمياً.

النسَق (Series) : كما ذكرنا فإن النظام يقسم إلى نُسق. وبعض الأنظمة مثل الكمبري والجوري تقسم إلى ثلاثة نُسق، ويرى المشتغلون بالطباقية أنها تمثل تقسيمات طبيعية تعبر كل منها عن تقدم البحر الذي يبلغ ذروة طغيانه ثم يسجل تراجعاً. وبالرغم من أن أغلب النُسق تأخذ إسمها من اسم النظام الذي تتبعه مع إضافة كلمة سُفْلي (Lower) أو مُتوسِّط (Middle)

أو عُلــْوِي (Upper) مثل نَسَق الكمبري السُفْلِي (Lower Cambrian Series) ونسق الكمبري الأوسط (Middle Cambrian Series) ونسق الكمبري العلوي (Upper Cambrian Series).

وتحمل بعض النسق أسماءً مميزةً أخرى مثل اللايس (Lias) والدُوجــر (Doger) والْمَــالم (Malm) التي تمثل الجوري السفلي والجوري الأوسط والجوري العلوي علـــى الـــترتيب ، أو تحمل أسماءً جغرافية مثل نُسق الكمبري في أمريكا الشــــمالية (Waucoban, Alberton and Croixian Series). ومع ذلك فإن تقسيم الأنظمة إلى سُــفْلِي وأوســط تثــير إشــكاليات بيــن المتخصصين في دراسة الطباقية حيث يعتبرها البعض تقسيمات غير طبيعية، ففـــي إنجلــترا مثلاً حيث يقسم البرمي إلى نسقين عُلْوِي وسُفْلِي فإننا نجد أن نَسَق البرمي السُفْلِي يعــبر عــن نصف نظام البرمي بينما في أمريكا حيث يقسم نفس النظام إلى أربعة نُسُق فإن نَسَق الـــبرمي السُفْلِي (Lower Permian) يعني النَسَق السُفْلِي من النُسُق الأربعة، وليس نصف النظام كما فــي إنجلترا. أضف إلى ذلك أنه في حالة تقسيم النظام إلى أربعة نُسُق فكيف يتأتى تقسيم النظام إلى سُفْلِي وأوسط وعُلْوِي. والمقابل الزمني (Geochronologic) للنَّسق هو العهد أو الحين (Epoch).



شكل (٨٠) خريطة مواقع القطاعات النوعية للأنظمة الأرضية.

(After Mintz, L. W., 1981).

وحدات الأزمنة الأرضية (Geochronologic) :

تمثل وحدات الأزمنة الأرضية تقسيمات للزمن وتُمَيَّز تقليدياً على أساس ســـجل الصخـــر الذي تمثله وحدات طباقية زمنية (Chronostratigraphic Units). ووحدة الأزمنـــة الأرضيـــة ليست وحدة مادية ولكنها تقابل الفترة الزمنية التي في أثنائها تكونت وحدة الطباقيـــة الزمنيـــة.

ولذا فإن بداية وحدة الأزمنة الأرضية يقابل زمن ترسيب قاع الوحدة الطباقية الزمنية ونهايتها تقابل زمن ترسيب قمة الوحدة المرجعية.

رتب وحدات الأزمنة الأرضية : مبتدئاً بالرتبة العليا فالأقل منها فإن وحدات أزمنة الأرض هي: الزمان (Eon) ثم الحقب (Era) فالعصر (Period) ثم العهد أو الحين (Epoch) ثم العمر (Age). ويلاحظ أن الأوان (Chron) ليست رتبة محسوبة. وتسميات هذه الوحدات هي نفس تسميات وحدات الطباقية الزمنية. والزمان (Eon) هو الزمن الذي تكون في خلاله صخر الزمان.

جدول (٢٣) : أصل مسميات العصور الأرضية.

الكمبري	سمي نسبة لإسم ويلز، وأعتبر نظاماً بواسطة سدجويك (Adam Sedgewick) ١٨٣٥م، و لم توصف أحافير من القطاع، ولذا فلم يتعرف على النظام كاملاً إلا بعد أن درس كل من فريديرك ماكوي وسالتر (Frederick McCoy and Salter) أحافيره المميزة.
الأوردوفيشي	يرجع الإسم إلى تشارلز لابورث (Charles Laporth) عام ١٨٧٩م ، نسبة إلى قبيلة أوردوفيش (Ordovice) ، ويضم الصخور المحصورة بين سطحي عدم توافق في تتابع كمبري-سيلوري، التي إقترحها سدجويك ومورشيسن (Sedgewick and Murchison) عام ١٨٣٨م.
السيلوري	سمي نسبة إلى قبيلة (Silures) وقد إقترح التسمية العالم مورشيسن (Murichison) عام ١٨٣٥م على أساس الصفات الصخرية والحجرية.
الديفوني	أسماه مورشيسن وسدجويك (Murchison and Sedgewick) عام ١٨٣٧م في إقليم ديفونشير (Devonshire) في إنجلترا، وقد أستخدمت الأحافير في تحديد حدي العصر.
الكربوني	أطلق هذا الإسم كونبير وفيليبس (William Conybeare and William Phillips) عام ١٨٢٢م على أساس رواسب الفحم الموجودة بوسط إنجلترا وعُرِّفَ العصر على أساس أحافيره المميزة.
البرمي	عرف هذا النظام مورشيسن (Murichison) عام ١٨٤١م في قطاع النموذج قرب إقليم برم بروسيا.
الترياسي	أطلق هذا الإسم فريدريك فون ألبرتي Fredrick Von Alberti) عام ١٨٤٣م على التقسيمات الصخرية الثلاثة : بونتر (Bunter) ومشلكالك (Muschelkalk) وكيوبر Keuper) في ألمانيا.
الجوري	أطلق الإسم الفرنسي الكسندر فون همبولدت (A. Von Humboldlt) عام ١٧٩٥ م نسبة إلى جبال الجورا في شمال سويسرا على أساس الصفات الصخرية.
الطباشيري	الإسم يرجع إلى إقليم يوجد بحوض باريس أطلقه عام ١٨٨٢م أومالاوس دي هالي (Omaliusd Hally) على صخور الطباشير في شمال فرنسا.
الثالثي	سماه جيوفاني أردينو (Giovanni Arduino) في عام ١٧٦٠م، وقد عرف أساساً في الأصل في إيطاليا ثم أعيد تعريفه في قطاع نوعي آخر في فرنسا على أساس محتواه الأحفوري.
الرابعي	أطلق هذا الإسم لأول مرة ج. ديزنوير (G. Desnoyers) عام ١٨٢٩م على الرواسب الثالثية بوادي نهر السين (Seine Valley)، والتي أعيد تعريفها عام ١٨٣٣م بواسطة (Reboul).

والحقب هـو الزمـن الذي تَكَوَّن في أثنائـه صخـر الحقب والعصـر هـو الزمـن الذي تَكَوَّن فيه النظام. وهكذا نقول مثلاً أنْ العصر الطباشيري (Cretaceous Period) ، هـو الزمـن الـذي تكونت فيـه صخور النظام الطباشـيري (Cretaceous System) ، ونقـول أيضاً أن نَسَق الكمبري السُّفْـلي (Lower Cambian Series) يشمل الصخور التي تكونـت أثناء عهـد أو حيـن الكمبري المبكر (Early Cambrian Epoch).

وحينما نشير إلى تقسيمات وحدات الأزمنة الأرضية نسـتخدم كلمـات المبكـر (Early) والمتوسط (Middle) والمتأخر (Late) بينما نسـتخدم كلمـات السـفلي (Lower) والأوسـط (Middle) والعلوي Upper) عند الحديث عن تقسيمات وحدات الطباقية الزمنية وبنـاءً عليـه يقال:

عهـد الكمبري المتأخر	(Late Cambrian Epoch)
عهـد الكمبري الأوسط	(Middle Cambrian Epoch)
عهـد الكمبري المبكر	(Early Cambrian Epoch)

بينما نقول عند الحديث عن وحدات الطباقية الزمنية (Chronostratigraphic Units) :

نسـق الكمبري العلوي	(Uppper Cambrian Series)
نسـق الكمبري الأوسـط	(Middl Cambrian Series)
نسـق الكمبري السفلي	(Lower Cambrian Series)

وتجـدر الإشـارة إلى أن الحـرف الأول يكـون كبيراً عند كتابـة أسـماء الوحـدات الطباقيـة باللغـة الأجنبيـة.

وحـدات قيـاس الطـباقية القطـبية الزمـنية وأزمـنة القطـبية (-Polarity Chronostratigraphic and Polarity Chronologic Units) :

وحدات الطباقية القطبية الزمنية (Polaity-Chronostratigrahic Units) : تعـرف وحـدة الطباقية القطبية الزمنية على أنها جسم صخري يحتوي على سجل مغناطيسية قطبية أساسـية أكتسبت أثناء الترسيب أو التبلر في فترة محددة من الزمن الأرضي. وتعتمد الوحدات أساسـاً على قطاعات أو تتابعات أو قياسات على الوحدات الصخرية، وكل منها تمثل سـجلاً زمنيـاً تكونت فيه الصخور وإكتسبت فيه قطبية مغناطيسية محددة. وكان الهدف مـن وراء إسـتخدام هذه الوحدة عام ١٩٨٣م في مجموعة القواعد الطباقية لأمريكـا الشـمالية تيسـير مضاهـاة الصخور من مكان لآخر والتي لها نفس العمر ونفس القطبية وأيضاً تحديـد تـاريخ القطبيـة للأرض. وحدود هذه الوحدات تحددها نطق قطبية إنتقالية.

ويعتبر نطاق زمن القطبية (Polarity Chronozone) الوحدة الرئيسة لتقسيم الطِباقية القطبية الزمنية والذي يمكن تقسيمه إلى تحت نطق زمن القطبية.

وحدات أزمنة القطبية (Polarity Geochronologic Units) : تعرف وحدات أزمنة القطبية على أنها الوحدات الزمنية المقابلة لوحدات الطباقية القطبية الزمنية ، وهي قسم من الزمن الأرضي (Geologic Time Scale) يميزه سجل القطبية المغناطيسية ووحدته هي الوحدة الزمنية (Chronologic Unit) المقابلة لوحدة الطباقية القطبية الزمنية. وهي قسم من الزمن الأرضي تعرفه سجل القطبية المغناطيسية ووحدته هي نطاق زمن أو أوان القطبية (Polarity Chron) (جدول ٢٤).

الوحدات الزمنية في عمر الأرض (Geochronometric Units) :

لا تعتمد هذه الوحدات على مرجعية مادية ولكنها أقسام مباشرة للزمن الأرضي. ويعبر عن الأعمار الأرضية بملايين السنين (my or Ma) وأحياناً بآلاف السنين (Ka) أو ببلايين السنين (Ga). تستخدم هذه الوحدات حين تُفتقد الشواهد الأحفورية، وحيث لا يمكن تطبيق قانون تعاقب الطبقات ، وهذا ما ينطبق على صخور ما قبل الكمبري خاصة النارية منها والمتحولة، ولهذا يعتبر تقسيما زمان الأركي (Archean Eon) وزمان طلائع الأحياء (Proterozoic Eon) من وحدات العمر الأرضي، ويوضع الحد الفاصل بينهما عند زمن إختياري وهو ٢٥٠٠ مليون سنة بالنسبة لصخور ما قبل الكمبري في أمريكا الشمالية.

جدول (٢٤) : وحدات الطباقية الزمنية (Chronostratigraphic Units) ووحدات أزمنتها.
(From North American Stratigraphic Code, 1983, Page 852, Table 2.b).

وحدات الطِباقية الزمنية (Chronostratigraphic Units)	وحدات الأزمنة الجيولوجية (Geochronologic Geochronometric Units)	وحدات الطِباقية الزمنية القطبية (Chronostratigraphic Polarity Units)	وحدات أزمنة الطِباقية (Polarity Chronologic Units)	وحدات مختلفة التقويم الزمني (Diachronic Units)
صخر الزمان (Eonothem)	الزمان (Eon)	فوق نطاق زمن القطبية (Polarity Superchronozone)	فوق زمن القطبية (Polarity Superchron)	
صخر الحقب (Erathem)	الحقب (Era)			
فوق النظام (Supersystem)				
النظام (System)	العصر (Period)	نطاق زمن القطبية (Polarity Chronozone)	زمن القطبية (Polarity Chron)	الفترة Episode
تحت النظام (Subsystem)	تحت العصر (Subperiod)			
النسق (Series)	العهد (Epoch)			الطَور Phase
المرحلة (Stage)	العمر (Age)	تحت نطاق زمن القطبية (Polarity Subchronozone)	تحت زمن القطبية (Subchron)	اللحظة Span
تحت المرحلة (Substage)	تحت العمر (Subage)			
نطاق الأوان (Chronozone)	الزمن (Chron)			البرهة Cline

الوحدات مختلفة التقويم الزمني (Diachronic Units) :

الوحدة المختلفة التقويم تشمل فترات غير متساوية في الزمن تُمثل إما بوحدات مخصصة من الطباقية الصخرية، الطباقية المحصورة بين أسطح عدم التوافق، والحياتية أو طِباقية التربة أو تمثل تجمع من هذه الوحدات. **وقد أُقترحت هذه الوحدات لتحقق الأهداف التالية:**

١ – مقارنة فترات الزمن الممثلة بواسطة الوحدات الطباقية المتكونة في أزمنة مختلفة في المناطق المختلفة.

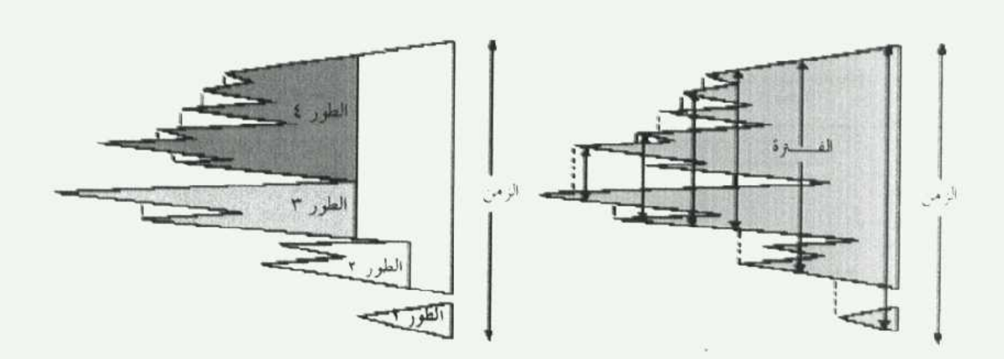
٢ – لوضع أساس عريض لبداية ونهاية زمن ترسيب الوحدات الطباقية التي تكونت في أزمنة مختلفة في الأماكن المختلفة.

٣ – لاإستنتاج معدل التغير في العمليات الترسيبية.

٤ – لتكون وسيلة لتحديد ومقارنة معدلات ودوام أزمنة الترسيب في المناطق المختلفة.

٥ – لتكون وسيلة لمقارنة العلاقات الزمنية للوحدات الطباقية التي تكونت في أزمنة مختلفة، وفي أماكن مختلفة.

توضح الوحدات ذات الأعمار المختلفة (Diachronic) تقدماً في الزمن (Time-Transgressive)، ولهذا يختلف عمر وإستمرار الوحدة من مكان لآخر. وتمثل الوحدة مختلفة التقويم الزمني أو (Diachron) وحدة صخرية متباينة الأعمار في أجزائها المختلفة ولا تحتل مرتبة بعينها، وإن تطلب الأمر تقسيماً للوحدة فإن مجموعة القواعد الطباقية لأمريكا الشمالية قد اقترحت وحدات الفترة (Episode) والطور (Phase) واللحظة (Span) والبرهة (Cline) مرتبة من الأعلى إلى الأدنى (شكل ٨١).



شكل (٨١) الوحدات مختلفة التقويم الزمني أو متعددة الأزمنة وأقسامها المختلفة.

(From North American Stratigraphic Code, 1983, Page 871, Fig. 11).

ويكون إسم الوحدة مختلفة التقويم الزمني مزدوجاً يتكون من اسم جغرافي مضافاً إليه كلمة دياكرون (Diachron) أو مصطلح رتبة الوحدة مثل الفترة أو الطور مثلاً. ويُكتب الحرف الأول في كليهما كبيراً عند كتابة الإسم باللغة الأجنبية.

وإذا ما تم تعريف الوحدة مختلفة التقويم الزمني على أساس وحدة طباقية واحدة فإن الوحدة يمكن أن تحمل نفس الإسم الجغرافي المستخدم في تسمية الوحدة الطباقية المفردة. وفي جميع الحالات فإن الإسم الجغرافي لا يكون مزدوجاً وإن تعددت الوحدات التي تشملها الوحدة مختلفة التقويم الزمني، مثل تكوين الحجر الرملي النوبي "Nubian Sandstone" في مصر والذي يمكن إعتباره وحدة متعددة الأزمنة.

معايرة مقياس الزمن الأرضي (Calibrating the Geologic Time Scale) :

من المعلوم أن الزمن الأرضي الحالي قد تم تشييده عن طريقين :

الأول : ترتيب مكونات التتابع الأرضي تصاعدياً من الأقدم إلى الأحدث بإستخدام عدة مبادئ أهمها قانون التعاقب الطباقي وقانون التعاقب الأحفوري، فَقُسِم الزمن الأرضي إلى زمان الحياة الخفية وزمان الحياة الظاهرة بأقسامهما المختلفة، وبذلك تم الحصول على مقياس الزمن الأرضي النسبي.

الثاني : تقدير أعمار الصخور بالسنين المطلقة حيث أُمكن تشييد مقياس الزمن الأرضي المطلق. وقد أستخدم كل من الطريقين معاً لمعايرة مقياس الزمن الأرضي الحالي ، ويوضح جدول (٢٥) أنسب الصخور إستخداماً في معايرة الزمن الأرضي.

معايرة مقياس الزمن الأرضي بواسطة الأحافير (Biochronology) :

أستخدمت أحداث السجل الأحفوري بنجاح في معايرة مقياس الزمن الأرضي عن طريق تحديد مستويات أحداث تاريخية لأنواع أو مصنفات الأحافير ذائعة الإنتشار مثل مستوى الأحداث datum events كحدث أول الظهور [First Appearance Datum (FAD)] وحدث آخر الظهور [Last Appearance Datum (LAD)] (شكل ٨٢). ويتم معايرة مقياس الزمن بإستخدام هذين الحدثين من خلال ثلاثة مراحل هي :

١ – التعرف على حدثي أول الظهور وآخر الظهور لمصنفين أحفوريين (نوع ، جنس ، إلخ) وتحديد موقعيهما في الوحدات الطباقية المحتوية على الأحافير ذات الأهمية الطباقية.

٢ – تحديد أعمار هذين الموقعين بطريقة مباشرة عن طريق التقويم الإشعاعي.

٣ – إذا لم تتيسر المُعَايرة بالطريقة الإشعاعية أو عن طريق القطبية المغناطيسية فتقدر أعمار الحدثين بطريقة أخرى مثل معدل الترسيب أو الدورات المناخية.

جدول (٢٥) : أنسب الصخور استخداماً في معايرة مقياس الزمن الأرضي.

(From Boggs, S. J., 1987, Page 678, Table 18.8).

نوع الصخر	العلاقة الطباقية	التطبيقات
الصخور البركانية (طفوح الحمم والرماد البركاني).	تتداخل مع الصخور الرسوبية التي تتكون أثناء النشاط البركاني.	تعطي الأعمار الحقيقية للصخور الرسوبية فوق وتحت الطبقات البركانية.
الصخور النارية الجوفية.	تقطع الصخور الرسوبية أو تقع لاتوافقياً تحتها.	تعطي أقل أعمار للصخور الرسوبية التي تداخلت فيها.
الصخور الرسوبية المتحولة.	تكون هي الصخور نفسها المراد تقدير أعمارها.	تعطي أقل الأعمار للصخور الرسوبية المتحولة لأنها تعطي تاريخ عملية التحول.
الصخور الرسوبية التي تحتوي على أحافير.	تتواجد في الجسم الرسوبي.	تعطي أعماراً حقيقية للصخور الرسوبية.
الصخور الرسوبية التي تحتوي على معادن ثانوية مثل الجلوكونايت.	تتواجد المعادن كمكون ثانوي.	تعطي أقل أعمار للصخور الرسوبية.

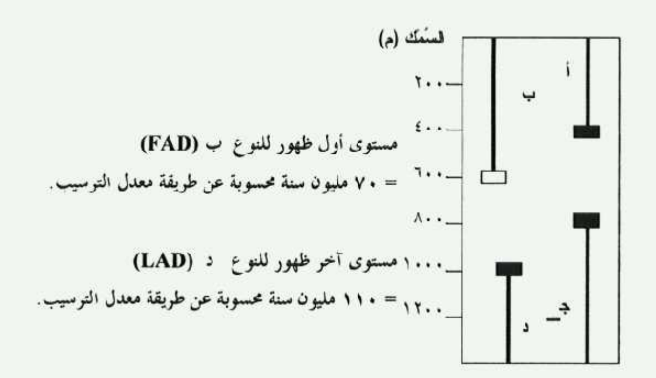
تقدير أعمار الصخور الرسوبية ومعايرة مقياس الزمن الأرضي (Dating of Sedimentary Rock and Calibrating the Geologic Time Scale):

تعد الطرق الآتية أكثر الطرق الشائعة إستخداماً في تقدير أعمار الصخور الرسوبية ومعايرة مقياس الزمن الطِباقي على المستوى العالمي:

١ – إيجاد أعمار الصخور الرسوبية بواسطة معرفة أعمار الصخور البركانية التي تكونت بفعل البراكين الثائرة أثناء تكوين الرواسب وفي الوقت الذي كانت فيه الأخيرة ما تزال مفككة وكذلك نتيجة سقوط الرماد البركاني المتساقط (شكل ٨٣).

مستوى أول ظهور للنوع أ (FAD)
= ٥٠ مليون سنة مقدرة بالطرق الإشعاعية.

مستوى آخر ظهور للنوع جـ (LAD)
= ٩٠ مليون سنة مقدرة بالطرق الإشعاعية.



الفترة الطباقية بين أول ظهور أ وآخر ظهور جـ = ٨٠٠ – ٤٠٠ = ٤٠٠ متراً.
الفرق في العمر بين الحدثين السابقين = ٩٠ – ٥٠ = ٤٠ مليون سنة.
معدل الترسيب = ٤٠٠ متراً لكل ٤٠ مليون سنة = ١٠متراً لكل مليون سنة

شكل (٨٢) معايرة مقياس الزمن الأرضي بواسطة الأحافير في القطاعات الطباقية المحلية.

حيث عمر الصخر عند مستوى أول ظهور ب = (فترة أول ظهور ب – فترة أول ظهور أ) / معدل الترسيب + ٥٠ = (٦٠٠ – ٤٠٠) / ١٠ + ٥٠ = ٧٠ مليون سنة

وهكذا يكون عمر الصخر عند آخر ظهور د = (فترة آخر ظهور د – فترة آخر ظهور جـ) / معدل الترسيب + ٩٠ = (١٠٠٠–٨٠٠) / ١٠ + ٩٠ = ١١٠ مليون سنة

٢ – تقدير أعمار الصخور الرسوبية المنحصرة بين صخور نارية ومتحولة :

من الممكن تقدير أعمار الصخور الرسوبية من علاقات القطع (Cross-Cutting Relationships) مع الصخور النارية والمتحولة (شكل ٨٤). ولكن في حالات كثيرة ليس من السهل أن نحدد كم تكون الصخور الرسوبية أحدث أو أقدم من قيمة محددة ما لم يكن هناك شاهدٌ آخر.

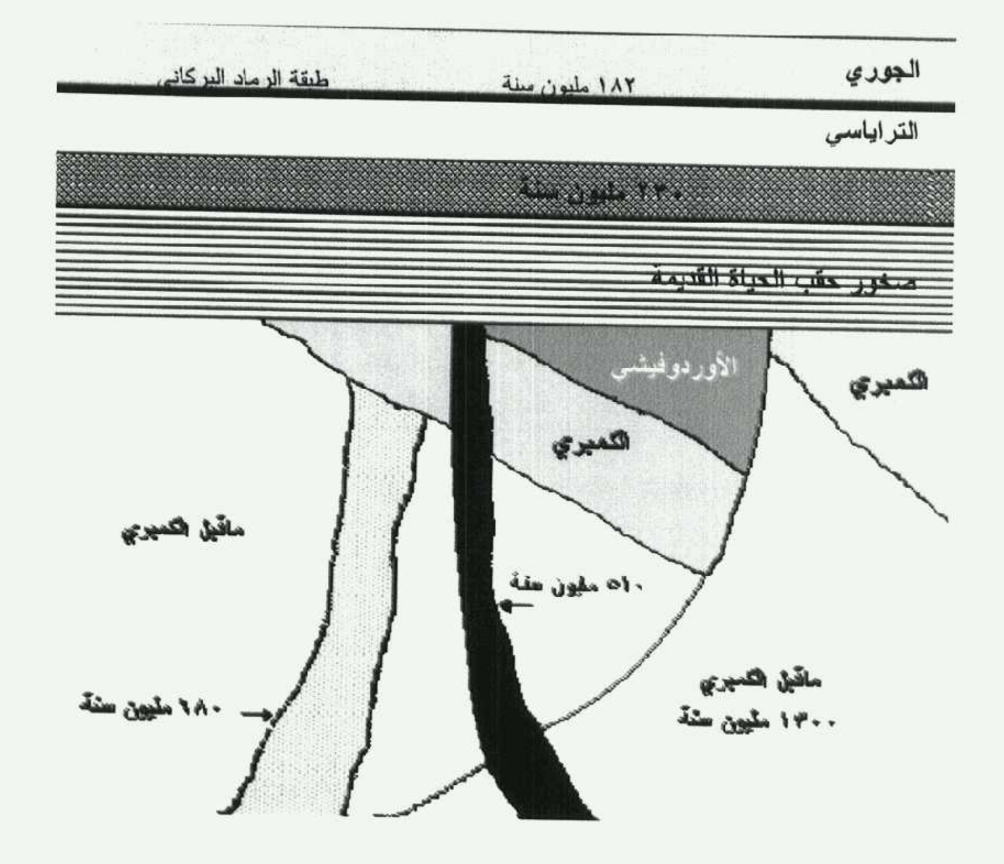
٣ – تقدير أعمار الصخور الرسوبية مباشرة : وتضم الطرق الأساسية المستخدمة في تقدير أعمار الصخور مباشرة (جدول ٢٦):

١ – تِقَانة الكربون–١٤ لتقدير أعمار المواد العضوية.

٢ – تِقَانة كل من البوتاسيوم–أرجون وروبيديوم–إسترانشيوم لتقدير أعمار معدن الجلوكونايت.

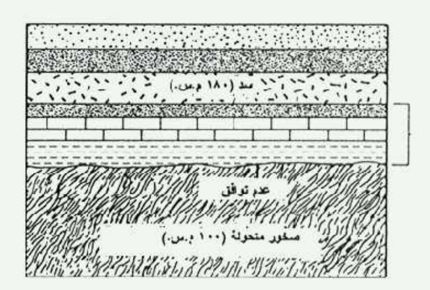
٣ - نقَانة ثوريوم–٢٣٢ لتقدير رواسب قاع المحيط.

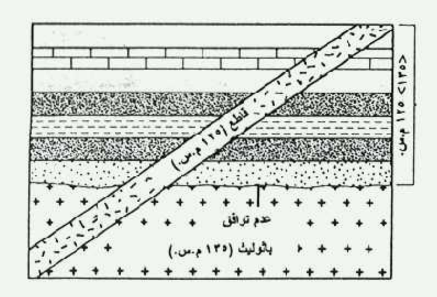
٤ - ثوريوم–٢٣٠/بروتاكتينيوم–٢٣١ لتقدير أعمار الأحافير والرواسب.



شكل (٨٣) تقدير أعمار الصخور الرسوبية بطرق غير مباشرة، حيث قُدِرَت أعمار صخور حقب الحيــاة القديمة بما لايقل عن ٢٣٠ مليون سنة ولايزيد عن ٦٨٠ مليون سنة لأنها محصورة بين صخور نارية أعمارها مقدرة بالرقمين السابقين. أما صخور الترياسي، وجزء من صخور الجوري، فتنحصر أعمارها بين ١٨٢ – ٢٣٠ مليون سنة. والجزء العلوي من صخور الجوري قدرت أعمارها مباشرة بواسطة طبقة الرماد البركــاني المعلومة العمر.

(Modified from Cooper J. D. et al , 1990, Merrill Publishing Co., Page 182, Fig. 6-20)





شكل (٨٤) تقدير أعمار الصخور الرسوبية المتواجدة بين الصخور النارية والمتحولة (أ) بين جسمين ناريين (ب).

(From Boggs, S., 1987, Page 680, Fig. 18.7).

طرق التقويم الزمني باستخدام النظائر:

نظائر اليورانيوم والرصاص (Uranium-Lead Dating Methods) :

أستخدمت نظائر اليورانيوم في تقدير أعمار الصخور لأول مرة في عام ١٩٠٧م. وتتلخص طرق التحلل الإشعاعي لليورانيوم في السلاسل الإشعاعية الثلاثة التالية والتي تؤدي في النهاية إلى تكوين نظائر الرصاص وليدة عملية الإشعاع (Radiogenic Lead) :

يورانيوم – ٢٣٨ ← رصاص – ٢٠٦

يورانيوم – ٢٣٥ ← رصاص – ٢٠٧.

يورانيوم – ٢٣٢ ← رصاص – ٢٠٨.

ويمر التحلل الإشعاعي لنظائر اليورانيوم في سلسلة طويلة تبدأ بالأب المشع وتنتهي بالوليد غير المشع (شكل ٨٥).

الأخطاء الواردة في استخدام نظائر اليورانيوم في التقويم الزمني: الأخطاء التي ترد في تقدير أعمار الصخور بالطرق الإشعاعية لليورانيوم تحدث نتيجة للأسباب التالية :

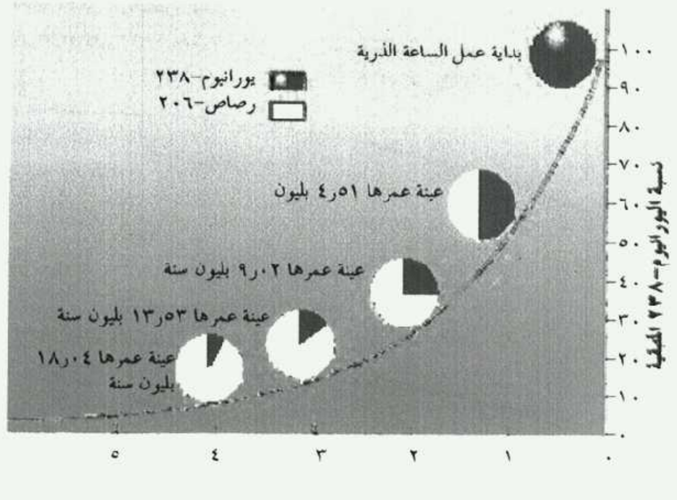
١- قد لا يعكس عُمْر المادة المشِعة عُمْر الصخر المتواجد فيه، فعلى سبيل المثال، قد تعكس حبَّات الزيركون الفتاتية عمر الحبَّات نفسها وليس عمر الصخر الذي ترسبت فيه، فلربما تكون حبَّات الزيركون قد مرت بأكثر من دورة ترسيبية وكذلك أعمار المواد الغريبة أو الدخيلة (Xenoliths) في صخور الجرانيت مثلاً.

٢ – فَقْد أو تسرب الرصاص الوليد، وإن كان ذلك غير شائع ويحدث الفقد لوجود نظام غير مقفل تماماً (Unclosed System).

جدول (٢٦) : أهم النظائر المستخدمة في تحديد أعمار الصخور.

(Collected from Boggs, S., 1987, P. 677, Table 18.5; Lemon, R., 1993, P. 101, Tables 6.2 and 6.3 and Thompson et al., 1965, P. 343, Tables 15.3).

النظائر		نصف العمر (Half Life)		ثابت	العمر	المصدر	التطبيقات
النيوكليد الأب (Parent Nuclide)	النيوكليد الوليد (Daughter Nuclide)	حديثاً (Recent Estimator)	قديماً (Old Estimator)	التحلل λ (Decay Constant)	المؤثر (Effective Age)	المشع (Radioactive Source)	(Applications)
^{238}U	^{206}Pb	٤٠٤٧٠ مليون سنة	٤٥١٠ مليون سنة	١٫٥٥ x ١٠^-١٠	> ٥ مليون سنة	زيركون، مونازيت، يورانينيت، بتشبلند، سفين أباتايت، الصخر كاملا.	تحديد أعمار صخور القمر والنيازك وصخور ما قبل الكمبري.
^{235}U	^{207}Pb	٧٠٤ مليون سنة	٧١٣ مليون سنة	٩٫٨٤ x ١٠^-١٠	> ٦٠ مليون سنة	مونازيت، زيركون، يورانينيت، بتشبلند	التطبيقات السابقة.
^{40}K	^{40}Ar	١٢٥٠ مليون سنة	١٣٠٠	λ_C= ٠٫٥٨ x ١٠^-١٠ λ_B= ٤٫٩٦ x ١٠^-١٠	> ١٠٠٫٠٠٠ مليون سنة	مسكوفيت، بيوتيت، هورنبلند، جلوكونايت، الفلسبار البوتاسي، البنتونيت، الصخر الناري كاملا.	تحديد أعمار صخور البازلت في قاع المحيط، طفوح الحمم وبعض الصخور الرسوبية.
^{87}Rb	^{87}Sr	٤٧٠٠ مليون سنة	٤٨٠٠ مليون سنة	١٫٤٢ x ١٠^-١١	> ٥ مليون سنة	مسكوفيت، بيوتيت، ليبدروليت، ميكروكلين، الطفل الغني بالطين، جلوكونايت، الصخر المتحول كاملا.	تحديد أعمار ما قبل الكمبري
^{14}C	^{14}N	٥٧٣٠ ±٥٠ سنة	٥٥٦٨ ±٣٠ سنة		< ٥٠٫٠٠٠ سنة	المواد العضوية.	عمر مواد الآثار والرواسب الحديثة التكوين



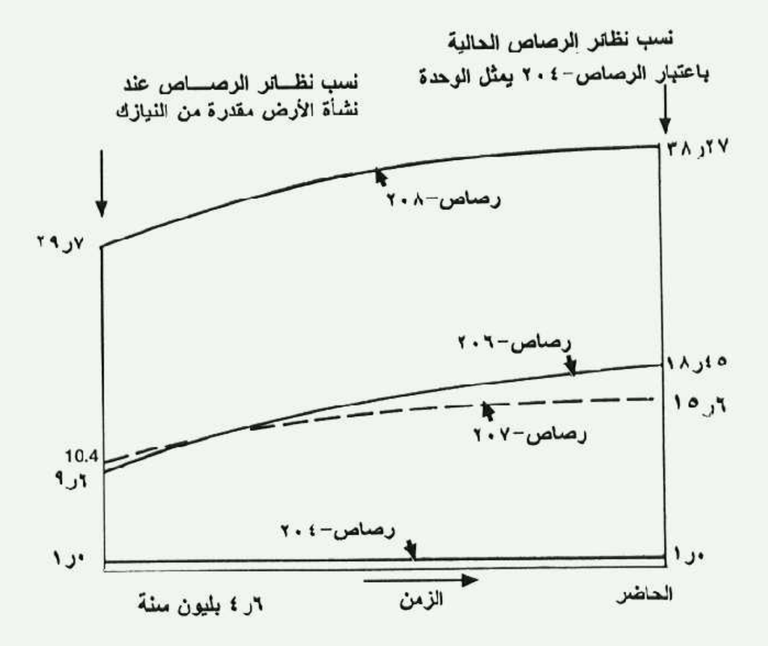
شكل (٨٥) منحنى التحلل الإشعاعي لليورانيوم-٢٣٨ (^{238}U) إلى الرصاص-٢٠٦ (^{206}Pb) ، حيث تتحلل نصف ذرات اليورانيوم-٢٣٨ إلى رصاص ٢٠٦ كل حياة نصف مقدارها ٤٥١٠ مليون سنة (تعرف باسم فترة نصف العمر لهذا النظير).

٣ - وجود وفرة من الرصاص (Excess of Lead)، فمن المعروف أنه توجد ثلاثة نظائر للرصاص الوليد (Radiogenic Lead) وهي رصاص-٢٠٦ و رصاص-٢٠٧ و رصاص-٢٠٨ بالإضافة إلى رصاص-٢٠٤. والنظير الأخير ليس له أية علاقة بعملية الإشعاع ويتواجد أصلاً في الصخر.

هذا وقد أستخدمت نِسَب نظائر الرصاص الأربعة السابقة كإحدى التقانات في تقدير أعمار الصخور ، ففي الوقت الذي يفترض فيه أن تظل نسبة الرصاص-٢٠٤ ثابتة نجد أنَّ نِسَب نظائر الرصاص الأخرى إلى الرصاص-٢٠٤ تزداد عبر الزمن (شكل ٨٦). وعند المستوى الحالي نجد نِسَب هذه النظائر كالتالي :

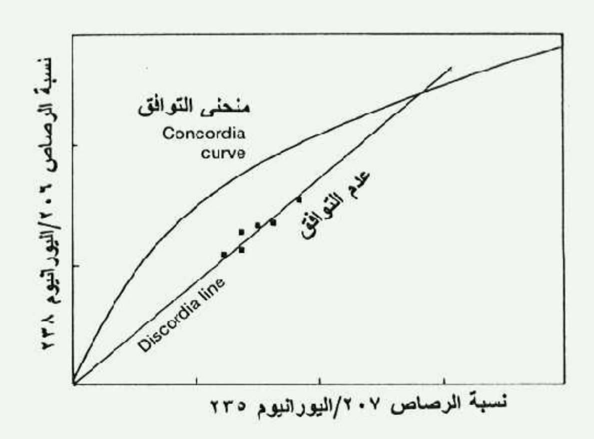
النظائر / رصاص-٢٠٤ : رصاص-٢٠٦ : رصاص-٢٠٧ : رصاص-٢٠٨.

النِسَب / ١ : ١٨٫٤٥ : ١٥٫٦١ : ٣٨٫٢٤.



شكل (٨٦) تغير النِّسَب التقريبية لنظائر الرصاص الوليد عبر الزمن ، ويمكن معرفة الزمن اللازم للوصول إلى النِّسَب الحالية من معرفة معدلات تحلل نظيري اليورانيوم-٢٣٨ واليورانيوم-٢٣٥ وكذلك الثوريوم.
(From Lemon, R., 1993, P. 104, Fig. 6.3).

منحنى التطابق : مـن الناحيـة النظريـة فإن الأعمار المقـدرة لمعـدن معيـن أو صخـر بإستخـدام طـرق تحلل اليورانيـوم السابقـة يجب أن تتفـق سويـاً، إلا أنـه مـن الناحية العملية فإن ذلك لا يحدث. فإذا مـا إتفقـت الحسـابات الناتجـة مـن تحلـل اليورانيوم-٢٣٨ ← رصاص-٢٠٦ مع مثيلتـها الناتجـة مـن تحلـل يورانيـوم-٢٣٥ ← رصـاص-٢٠٧ يقـال أنـهما متطابقتـان (Concordant). وتمثـل نِسْبَـة اليورانيـوم-٢٣٥/الرصاص-٢٠٧ عادة على الإحداثـي الأفقـي بينمـا تمـثل نِسْبَـة اليورانيـوم-٢٣٨/الرصاص-٢٠٦ على الإحداثي الرأسي، وتمثل نقط الإحداثيات منحنـى التوافق. والمنحنـى يأخذ شكلاً محدباً لأعلى عند تمثيل البيانات بالمقـياس الحسابي (شكل ٨٧).



شكل (٨٧) منحنى التوافق وخط عدم التوافق. حيث تحدد نقطة تقاطع المنحنى والخط زمن تكوين معادن اليورانيوم.

(From Lemon, R., 1993, P. 105, Fig. 6.4).

ولما كانت نسب الرصاص إلى اليورانيوم الناتجة من تحليل معادن اليورانيوم العديدة المأخوذة من راسب واحد لا تقع على منحنى التوافق ، بل تمثل خطاً مستقيماً يقع أسفل منحنى التطابق، ويسمى هذا الخط خط عدم التوافق (Discordia Line). ويدل عدم التطابق على وجود نظام مفتوح يؤدي إلى فَقْد الرصاص أثناء عمليات التحول، والتداخلات النارية، والإجهاد البنيوي، أو بواسطة عوامل التعرية المختلفة. ويمكن معرفة فترات الفَقْد هذه حيث أن خط عدم التوافق يتقاطع مع منحنى التوافق في نقطتين، النقطة العليا منهما والتي تقع إلى اليمين تميز حدث تكوين اليورانيوم والنقطة السفلى والتي تقع إلى اليسار تمثل الحدث الذي وقع فيه الإضطراب في نظامي اليورانيوم ، إلا أن النقطة الأخيرة قد لا تشير إلى حدث بذاته فقد يستمر فقد الرصاص خلال أزمنة طويلة.

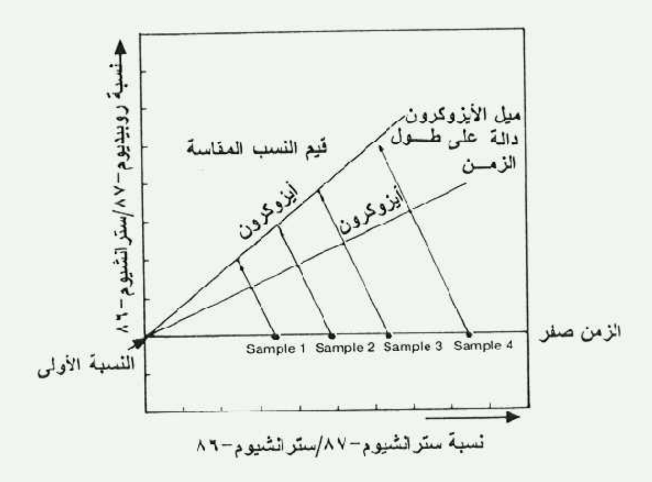
تقدير العمر بواسطة نظير الثوريوم-٢٣٠ (Thorium-230 Dating) :

يوجد وليدان قصيرا العمر في سلسلتي اليورانيوم-٢٣٨ ويورانيوم-٢٣٥ وهما على الترتيب الثوريوم-٢٣٠ (^{230}Th) (نصف العمر = ٧٥٫٠٠٠ سنة تقريباً) والبروتاكتينيوم-٢٣١ (^{231}Pa) (نصف العمر = ٣٤٫٠٠٠ سنة تقريباً). وتستخدم الطريقة لتقدير عمر بعض رواسب الكربونات والهياكل العضوية في البحار العميقة، وهذه الطريقة ليست ساعة تراكم تعتمد على قياس نسبة الأب المُشع إلى الوليد الناتج ، ويطلق عليها بدلاً من ذلك ساعة التحلل (Decay Clock) حيث تقاس كمية النظير الأب المتبقي.

طريقة التقويم الزمني بإستخدام نظيري روبيديـــوم–٨٧ : سترونشـــيوم–٨٧ (Rubidium- 87 : Strontium Dating Methods)

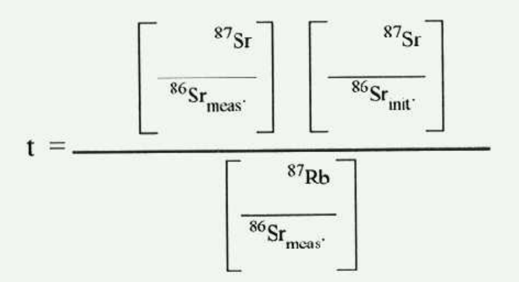
يعتبر الروبيديوم من العناصر النادرة في صخور القشرة الأرضية ، وهـــو يحـــل محـــل البوتاسيوم في البناء البلوري. ويمثل الروبيديــوم–٨٧ (^{87}Rb) المشـــع حوالـــي ٢٨% مـــن الروبيديوم الموجود بالطبيعة ويتحلل إشعاعياً إلى سترونشيوم–٨٧ (^{87}Sr). وتستخدم الطريقـــة في تقدير أعمار الصخور القديمة النارية والمتحولة والرسوبية. وعند الحديث عن هذه الطريقـة يلزم أن نعرض لمشكلة النظير سترونشيوم–٨٧ الموروث في الصخر عند نشأته. ونشير إلـــى أن الصخور تحتوي على سترانشيوم–٨٦ واسترونشيوم–٨٧، إلا أن الأخير هو الذي يســتخدم فقط في حسابات عمر الصخور.

وقد أُدخلت تحسينات على الطريقة حيث أخذت عينات من نفس النسق (Suite) مـــن الصخور النارية وأستخدمت نتائجها في تشييد ما يسمى بمجسم العُمْر المتســـاوي (Isochron Diagram) بفرض أن كل الصخور المشتقة من صهير واحد تحمل نسبة أوليـــة واحـــدة مـــن سترانشيوم–٨٧ إلى سترانشيوم–٨٦. حيث أن نفس الصهير يكون متجانساً. وهذا يعني أنـــه فـــي المجسم الذي تمثل نسبَة الروبيديوم–٨٧ إلى استرونشيوم–٨٦ محوره الأفقي سوف تمثل العينـــات الزمن–صفر (زمن تبلور الصهير) (شكل ٨٨).



شكل (٨٨) مجسم الزمن المتساوي (Isochron) عند زمن التبلور (الزمن صفر) حيـــث تكـــون نســـبة إسترونشيوم–٨٧ إلى استرونشيوم–٨٦ الأولي واحدة. وتتغير نسبة روبيديوم–٨٧ إلى سترانشيوم–٨٦ مـــن عينة لأخرى. ومع مرور الزمن تزداد كمية استرونشيوم–٨٧ على حساب كمية روبيديوم–٨٧ المتحللة.
(From Lemon, R., 1993, P. 104, Fig. 6.3).

ونظراً لطول حياة النصف للروبيديوم–٨٧ فإن الصيغة العملية لحساب **الأعمار باستخدام نسبة استرونشيوم/روبيديوم**



$$t = \frac{\left[\frac{^{87}Sr}{^{86}Sr_{meas.}}\right]\left[\frac{^{87}Sr}{^{86}Sr_{init.}}\right]}{\left[\frac{^{87}Rb}{^{86}Sr_{meas.}}\right]}$$

تقدير العمر عن طريق البوتاسيوم–أرجون (Potassium-Argon Dating Methods) :

البوتاسيوم عنصر شائع في صخور القشرة الأرضية. وتعتبر طريقة البوتاسيوم–أرجون من أكثر طرق النظائر استخداماً في تقدير الزمن الأرضي. ومن بين نظائر البوتاسيوم (بوتاسيوم–٣٩، بوتاسيوم–٤٠، بوتاسيوم–٤١) وبوتاسيوم–٤٠ فقط هو الذي يستخدم (شكل ٨٩) لأنه غير ثابت ويتحول أغلبه إلى كالسيوم–٤٠ والقليل منه يتحلل إلى أرجون–٤٠. والطريقة تصلح لتقدير أعمار الصخور التي تتراوح أعمارها بين ما قبل الكمبري والبليستوسين المتأخر.

وبالرغم من أن نصف العمر للبوتاسيوم–٤٠ هي ١٫٢٥ x ١٠ ^{9} سنة ، إلا أنّ الصخر الحديث الذي يصل عمره إلى حوالي ٥٠٫٠٠٠ سنة يمكن أن توجد به كمية من الأرجون–٤٠ يمكن قياسها. واستخدام الطريقة في تقدير أعمار الصخور الحديثة هو في الواقع أكثر دقة من استخدامها في الصخور القديمة.

والعمر المقدر بهذه الطريقة يعتبر هو العمر الأدنى إلا إذا ثبت أن المادة لم تتعرض للتسخين أو الطحن أو التكسير.

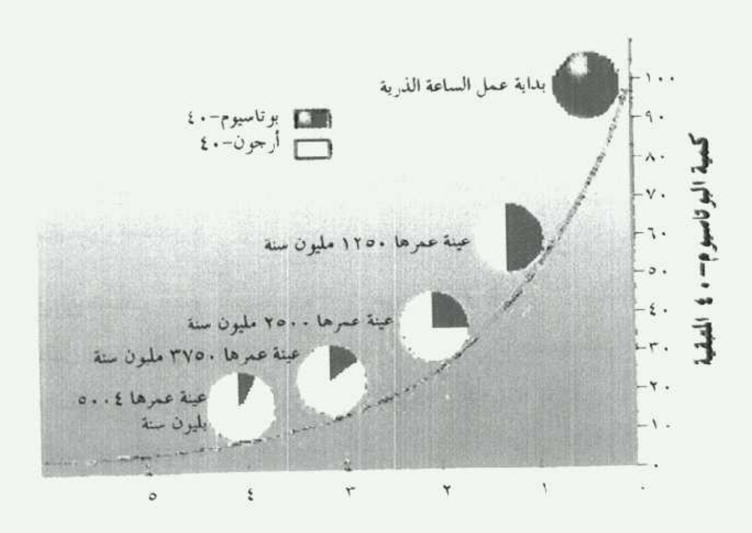
وتستخدم الطريقة في تقدير أعمار الصخور النارية التي تبرد بسرعة مثل الطفوح البركانية أو المتداخلات الصغيرة. وتستخدم أيضاً في تقدير أعمار الرواسب البحرية المحتوية على معدن الجلوكونايت.

ونظراً لأن بوتاسيوم–٤٠ يتحلل إلى وليدين : كالسيوم–٤٠ وأرجون–٤٠ فإنه يحدث تحوير في المعادلة العامة ولهذا فإن معادلة البوتاسيوم–أرجون يعبر عنها :

$$t = \frac{1}{\lambda_e + \lambda} \log_e \left[\frac{{}^{40}Ar_{rad}}{{}^{40}K} \cdot \frac{\lambda_e + \lambda_\beta}{\lambda_e} + 1 \right]$$

λ_e = ثابت تحلل أرجون – ٤٠ الناتج من الإشعاع.

λ_β = ثابت تحلل الكالسيوم – ٤٠.



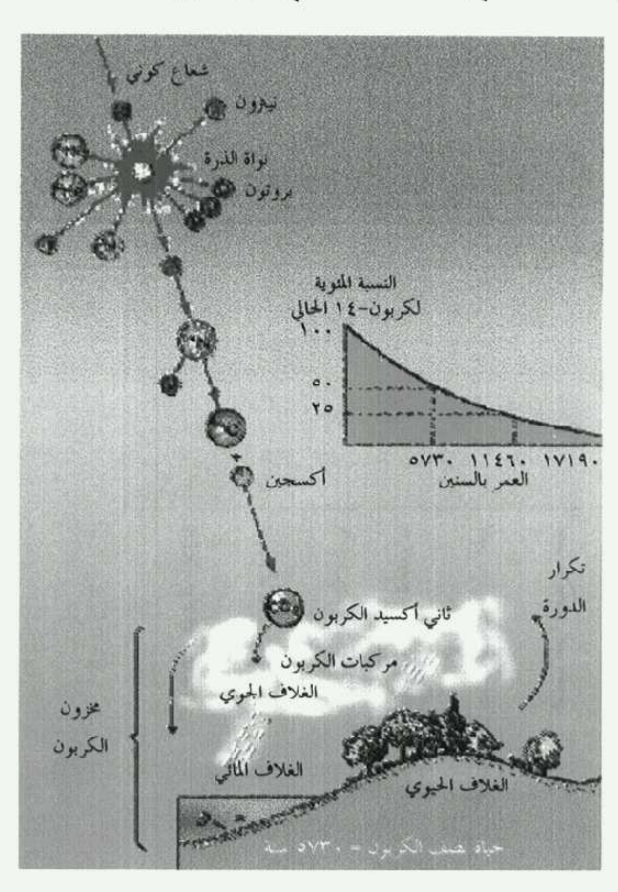
شكل (٨٩) منحنى التحلل الإشعاعي للبوتاسيوم – ٤٠ إلى أرجون – ٤٠. حيث تتحلل نصف ذرات البوتاسيوم – ٤٠ إلى أرجون – ٤٠ كل نصف عمر مقدارها ١٢٥١ مليون سنة.

تقدير العمر بواسطة نظـــائر الكربون المشـــع [Carbon (Radiocarbon) Dating] :

يستخدم الكربون المشع لتقدير أعمار المواد العضوية، مثل الخشب والفحم والعظام والخـث والأصداف والورق والأقمشة ورواسب الكهوف ورواسب العيون المعدنية والآثار التاريخية.

والكربون يوجد في ثلاث نظائر: الكربون-١٢، الكربون-١٣، والكربون-١٤. والنظـيران الأوليان يتصرفان كيميائياً مثل الكربون-١٤ الذي يعتبر عنصراً غير مستقر ويتحلل إشـــعاعياً إلى النيتروجين-١٤ ونصف عمره ٥٧٣٠ سنة ، وهو بلا شك نصف عمـــر قصـــير، ولـــذا تستخدم هذه الطريقة في دراسة صخور عهدي البليستوسين والحديث، ويتكون الكربون المشـــع (كربون-١٤) نتيجة تأثير الأشعة الكونية على النيتروجين-١٤ (شكل ٩٠) :

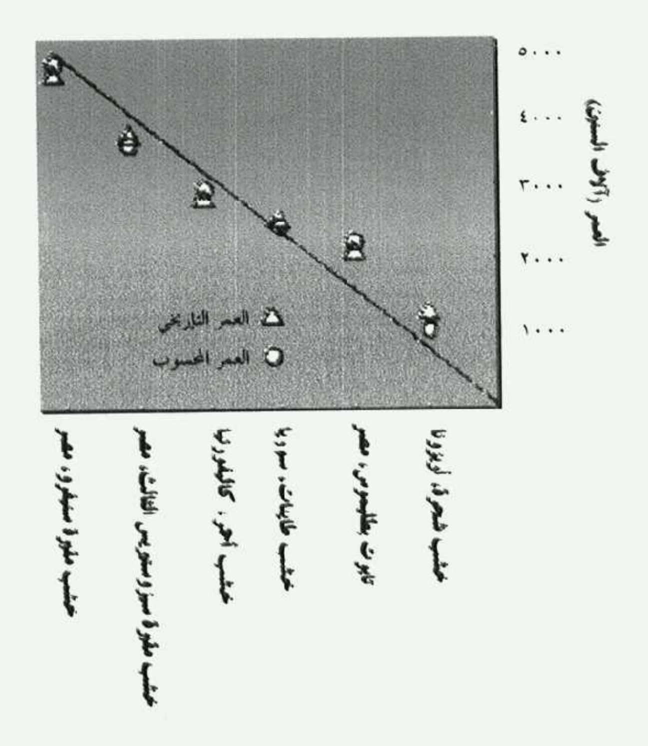
$^{14}N \xrightarrow{\text{أشعة كونية}} {}^{14}C + O_2 \longrightarrow CO_2$ (في الغلاف الجوي والغلاف الحياتي).



شكل (٩٠) عملية تكون الكربون-١٤ من النيتروجين في الغلاف الجوي بتأثير الأشعة الكونية ثم إتحـــاده مع الأكسجين لتكوين ثاني أكسيد الكربون المشع ثم استخدامه بواسطة كـــل الكائنـــات الحيـــة في دورة الكربون.

ومن معرفة كمية الكربون-١٤ المتبقية في بقايا الكائن يمكن معرفة الفترة الزمنيــــة منــذ موته التي انقضت، حيث يقدر العمر من نِسْبة الكربون-١٤ لنسبة لأي كربون آخر في العينــة، ولذا فإنه إذا عرفت نسبة الكربون-١٤ الأصلية بالِّنسْبة إلى كربون-١٢ أو الكربون-١٣ فــإن عمر الأحفورة يقدر وفقاً لكمية ك-١٤ المتبقية.

وقد أستخدمت هذه الطريقة في تقدير عمر آخر عصر جليدي غزا أمريكا الشمالية حيــث وُجِد أنَّ هذا الغزُو الأخير مر على حدوثه ٤٠٠ر١١ سنة وهذا الرقم أقل من نصــف نظــيره المحسوب قبل ذلك. وأيضاً وُجِد توافق تام بين الأعمار التاريخية لبعض الأشـــياء وأعمارهــا المقدرة عن طريق الكربون المشع، مما يؤكد أنَّ نِسْبة C-14 بقيت ثابتة في الجو خلال الـــــ ٥٠٠٠ سنة الماضية، علاوة على أنه هناك شواهد أخرى تؤكد أن تركيب الغلاف الجوي بقــى ثابتاً خلال الــ ٠٠٠ر٥٠ سنة الماضية (شكل ٩١).



شكل (٩١) مقارنة الأعمار التاريخية لأخشاب أثرية مع أعمارها التي حسبت بطريقة الكربون المشع.
(Data from Libby in Petersen and Rigby, 1990, P. 68, Fig. 7.5).

مضاهاة الأزمنة (Chronocorrelation) :

تعالج المضاهاة الزمنية أو مضاهاة الأزمنة تكافؤ الأعمار والعلاقات العارضة. وتعبر مضاهاة أزمنة الطِباقية (Chronostratigraphic Correlation) عن التكافؤ في العمر والوضع الزمني الطِباقي (Chronostratigraphic Position) للوحدات الطِباقية.

ومما لاشك فيه أن المضاهاة الأصيلة يجب أن تكون هي المضاهاة الزمنية. ولذا تَحْمِل وحدات الطِباقية الصخرية مثل التكوين دائماً إيحاءً زمنياً يفيد كدليل على الوضع الطِباقي. فكما أنَّ أول الغيث قطرة فكذلك الوحدة الصخرية بدأ تكوينها بِحَبَّة ترسبت في لحظة ما ، وانتهى تكوينها أيضاً بِحَبَّة تمثل كذلك لحظة ، وجميع مكونات الوحدة الصخرية تكونت في الفترة ما بين لحظتي البداية والنهاية. وبالمثل يُمَثِّل عدم التوافق إيحاءً زمنياً أيضاً حتى وإنْ تَكَوَّن في فترة زمنية طويلة. وكثير من الأنظمة الأرضية يحدها عدم توافق ولذا فهي تشير إلى البعد الزمني.

ونستطيع أن نعدد الأشياء التي تَحْمِل إيحاءً زمنياً في الآتي:

١ – الوحدات الطباقية الصخرية.
٢ – أسطح عدم التوافق.
٣ – التشوه البِنَائي ودرجة التحول.
٤ – التقويم الزمني بالنظائر.
٥ – الأحافير.
٦ – القطبية المغناطيسية.

وسوف نشير في معرض حديثنا عن مضاهاة الأزمنة النقاط التالية :

أ – طِباقية الحدث ومضاهاة الحدث (Event Stratigraphy and Event Correlation).
ب – مضاهاة الأحداث الترسيبية قصيرة العمر.
جـ – المضاهاة بواسطة الأحداث العارضة مثل البراكين وغيرها من الكوارث.
د – المضاهاة بواسطة تغيرات مستوى سطح البحر.

طِباقية الحدث ومضاهاة الحدث (Event Stratigraphy and Event Correlation) :

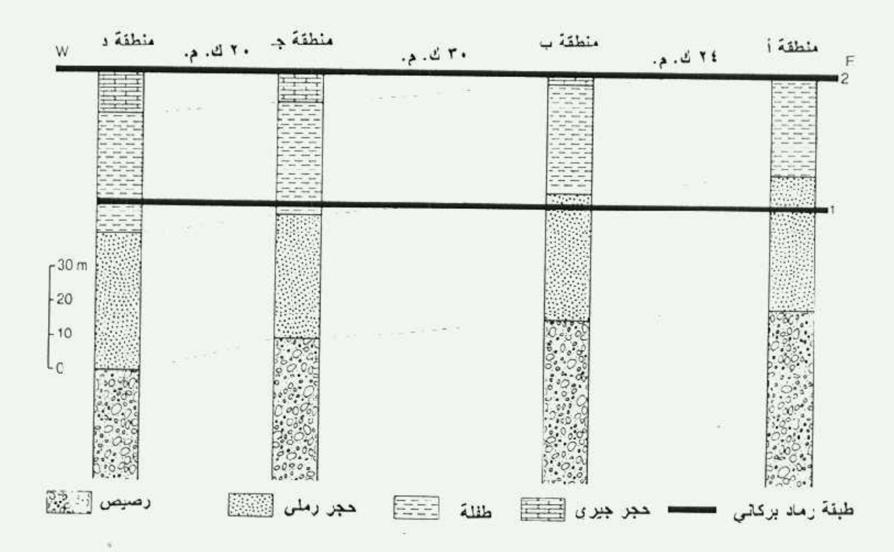
طِباقية الحدث (Event Stratigraphy) : يمكن تعريف طِباقية الحدث على انها أحد فروع الطباقية التي تعتني بالحدث وراء الوحدة الطِباقية أكثر مما تركز على مميزات الوحدة سواءً الحجرية أو الحياتية. فالتركيز يَنْصَبّ مثلاً على تقدم وتراجع البحر، أو على حدث ارتطام نيزك كبير بسطح الأرض، أو الأشياء الأخرى من هذا القبيل. فهي قد تعني بدراسة الأحداث

النادرة في المحتوى الطِباقي مثل ثورانات البراكين، الزلازل، الفياضانات، العواصف، تقلبات المناخ وغيرها. وقد تشكل النكسات العالمية عبر الزمن الأرضي مادة أساسية لطِباقية الحدث. والحدث قد يكون صغيراً أو كبيراً، طويلاً أو قصيراً ، وقد يكون حدثاً أرضياً (Terrestrial) أو كوني خارج نطاق الأرض (Extraterrestrial).

مضاهاة الحدث (Event Correlation) :

أ – المضاهاة بواسطة الأحداث الترسيبية قصيرة العمر :

تلعب الطبقة المميزة (Marker Bed) دوراً هاماً في المضاهاة الصخرية بإعتبارها وحدة مميزة من وحدات الطِباقية الصخرية وهي في نفس الوقت تمثل حدثاً زمنياً يعبر عن لحظة وقتية (Instantaneous) من الزمن الأرضي. ومن أمثلة ذلك طبقة الرماد المتساقط أثناء ثورانات البراكين التي قد يستغرق تكوينها عدة أيام فقط، وتمتد لمسافات كبيرة حيث تتكون طبقات الرماد البركاني (Ash Layers) المتكونة في قاع المحيط أو على اليابسة (شكل ٩٢).

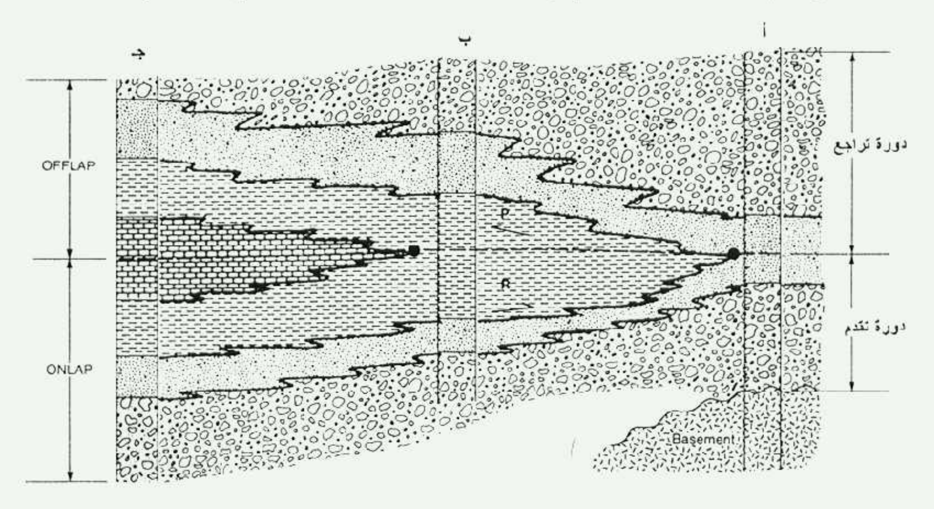


شكل (٩٢) يمثل ترسيب طبقة الرماد البركاني أثناء ثورانات البركان لحظة من الزمن الأرضي حدثاً زمنياً مفيداً في المضاهاة. وحيث أن طبقتا الرماد البركاني تقطعان الحدود بين الوحدات الطباقية الصخرية فإن ذلك يدل على أن الحدود الطباقية غير متكافئة في الزمن.
(Modified from Cooper *et al.*, 1990, P. 192, Fig. 5-7).

ومن الأمثلة أيضا طبقات المقذوفات البركانية (Tephra Layers) المفيدة في المضاهاة عبر قيعان المحيطات. وتمثل رواسب تيارات العكر (Turbidites) أيضا حدث فجائي في عمر الزمن وكذلك رواسب التربة الطفالية (Loess) المتكون على اليابس، ورواسب الغرين والرمل المتكونة في قيعان المحيطات أثناء العواصف الترابية. ومن الطبقات العلامة التي ترسبت بفعل حوادث عادية وليست عارضة طبقة الحجر الجيري الرقيقة المتواجدة في طبقات طفلة غير بحرية والتي تمثل غزو بحري قصير الأمد.

ب - مضاهات الأزمنة بواسطة موقع الحدث في دورة التقدم والتراجع :

تحتوي الرواسب التي تكونت أثناء دورة تقدم وتراجع البحر على مستوى زمني خاص يمثل أقصى تقدم للبحر، حيث يبلغ ماء البحر أقصى عمق له في كل المناطق والصخور التي تقع في المستوى الطباقي تحت هذا المستوى والتي ترسبت أثناء التقدم ، بينما الصخور الواقعة فوق هذا المستوى قد تكونت أثناء التراجع. ويحدد هذا المستوى الزمني عن طريق توصيل النقاط في القطاعات الطباقية الرأسية والتي عندها تتوزع الصخور بإنتظام بالنسبة للسحنات في إتجاه حوض الترسيب (شكل ٩٣).



شكل (٩٣) المضاهاة الزمنية عن طريق موقع الحدث في دورة تقدم-تراجع البحر ، حيث أن الخط الذي يصل بين أكثر النقاط عمقا والذي يمثل الانتقال من التراجع إلى التقدم يعد خطا زمنيا يفيد في مضاهاة الحدث.

(From Cooper, *et al.*, 1990, P. 57, Fig. 2.18).

الفصل الثالث عشر

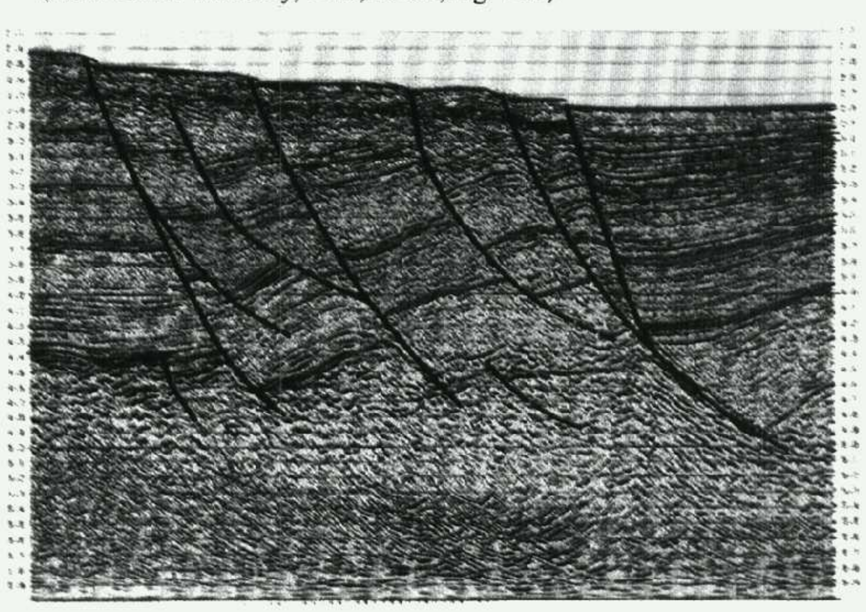
الطِباقية الزلزاليةوالطِباقية المغناطيسية

(Seismic Stratigraphy and Magnetostratigraphy)

- طرق التحليل الطباقى الزلزالى
- مضاهاة الأحداث الزلزالية
- تسمية وتصنيف وحدات الطباقية القطبية
- تطبيقات الطباقية المغناطيسية



(From Plumer McGeary, 1996, P. 421, Fig. 19.8)



الطِـبـاقـــيـة الزلــزالـــيـة

Seismic Stratigraphy

تقسيم طبقات الأرض بواسطة الاهتزازات الزلزالية (الطِباقـيـة الزلزالـيـة) (Seismic Stratigraphy)

تعريف:

تُعرّف الطباقية الزلزالية على أنها علم توظيف المعلومات الزلزاليـــة بـهدف اســتخراج المعلومة الطِباقية. وقد ظهر هذا الفرع حديثاً في عام ١٩٦٠م ، وهو يُعــد مدخــلاً أرضيــاً (Geological) لتفسير النتائج الزلزالية من وجهة نظر علم الطباقية.

وقد استخدمت تِقَانة الاستكشاف الزلزالي وماتزال في تحديد مواقع المصائد البِنائية للنفـــط ثم استخدمت في معرفة طِباقــــية وبُنْية الأرض. وتفيد أنظمة توزيع الســحنات الزلزاليــة (Seismic Facies) رأسياً وجانبياً في التفسير الحجري ، وتفسير البِنْيات الرســوبية ، وتــأريخ الوحدات الطِباقية التحت سطحية.

وتتنوع طرق المسح الزلزالي على الأرض أو في البحر. وتعتــبر الطريقــة الإنعكاســية (Reflection Seismic Method) من أنجح طرق المسح الزلزالــي المســتخدمة علــى ســطح الأرض وتشمل تِقَانة هذه الطريقة الخطوات التالية:

١ – إنتقاء مواقع التفجير (Shot Points) وتحديد مصدر الطاقة المستخدمة.

٢ – توزيع أجهزة إستقبال تعرف بالسماعات الأرضية (Geophones) في شبكة مرسومة من قبل وربطها بجهاز التسجيل.

٣ – تسجيل الإشارات الزلزالية على شريط أو قرص مغناطيسي (Magnetic Tape).

٤ – معالجة الشريط أو القرص عن طريق الحاسوب ، وإعداد لوحــة عــرض تظــهر السِجل الزلزالي (Seismogram).

أما في حالات المسح الزلزالي في البحار ، فتستخدم تِقَانة إطلاق مصــدر صوتــي (Sound Source) يتم استقباله عن طريق أجــهزة اســتقبال تســمى ســماعات مائيــة (Hydrophones).

وقد أفادت الأقمار الصناعية في تحديد مواقع السُّفُن وأجهزة الإستقبال كما استخدمت الكابلات الطافية (Floating Streamer Cables).

المعاملات المستخدمة في التفسير الطِباقي الزلزالي (جدول ٢٧):

١ – شكل الانعكاس (Reflection Configuration).

٢ – إستمرارية الإنعكاس (Reflection Continuity).

٣ – سعة الإنعكاس والتردد (Reflection Amplitude and Frequency).

٤ – سرعة الفترة (Interval Velocity).

٥ – الشكل الخارجي للوحدات العاكسة (External Form of Reflecting Unit).

جدول (٢٧) : المعاملات المستخدمة في التفسير الطباقي الزلزالي

معاملات السِحنة الزلزالية	التعريف	التفسير الأرضي
إستمرارية الانعكاس	تتعلق باستمرارية الطبقات على مساحة كبيرة وتعتمد على المضاهاة بين الكثافة والسرعة عبر الأسطح الطِباقية أو أسطح عدم التوافق	إستمرارية التطبق ، العمليات الرسوبية.
شكل الانعكاس	تعبر عن أنظمة التطبق المعرفة من السِجلات الزلزالية وتتميز إلى أربعة أنواع: ١- الأنظمة المتوازية ٢- التشكلات المنفرجة (Divergent) ٣- التشكلات البِنائية ٤- التشكلات المغلفة (Coated).	أنظمة التطبق ، العمليات الرسوبية ، التضاريس القديمة وأسطح التآكل ، أسطح الموائع.
سعة الانعكاس	المسافة المقاسة فوق أو تحت الخط المسار بنقاط المنتصف خلال آثار الموجة.	تضاهي السرعة ، الكثافة ، محتوى الموائع ، الحيز الطبقي.
تردد الانعكاس	عدد الذبذبات أو الإهتزازات في الثانية.	سُمْك الطبقة ، محتوى الموائع.
سرعة الفترة	السرعة المتوسطة للموجات الزلزالية بين العواكس (Reflectors).	تقدير وتقييم الحجرية ومسامية الصخور ، محتوى الموائع.
الشكل الخارجي للسِحنات الزلزالية	صفائحية ، وتدية ، عدسية ، قنوية ... إلخ.	البيئة الرسوبية ، مصدر الصخر ، الوضع الأرضي.

بعض طرق التحليل الطِباقي الزلزالي

تتضمن طرق التحليل الطباقي باستخدام المعلومات الزلزالية المبادئ الثلاث التالية :

١ – **تحليل المتوالية الزلزاليـــة (Seismic Sequence Analysis) :** يشـــمل تحليـــل المتوالية الزلزالية التعرف على الإنعكاس الكبير الـــذي يحــــدد علـــى أســـاس معرفـــة أسطـــح عـــدم الاستمراريـــة ، وهـــذه الأسطـــح تتضمــــن أسطــــح عدم التوافق التحاتية (المتآكلة) (Erosional Unconformity Surfaces) وأســـطح عـــدم إستمراريـــة (Downlap Surfaces).

٢ – **تحليل السحنات الزلزالية:** تعرف السِحنة الزلزاليـــــة (Seismic Facies Unit) على أنها وحدة ثلاثية الأبعاد قابلة للتخريط أو للترسيم الأرضـــي (Mappable)، وتتكون من إنعكاسات زلزالية تختلف خصائص عناصرهـــا الإنعكاســـية عـــن خصائص الوحدات المجاورة لها. ويوجد ثلاثة عناصر هامة في التحليل السِحني الزلزالي هي هندسة الإنعكاس، والتشكل الإنعكاسي، والشكل ذو الأبعاد الثلاثة.

٣ – **تفسير البيانات الرسوبية والسِحنات الصخرية:** يستخدم تحليل المتوالية الزلزالية والتحليل السِحني الزلزالي في معرفة الســـحنات الصخريـــة وتميـــيز البيئـــات الرسوبية ووصف تضاريس القيعان الترسيبية القديمة.

المضاهاة بواسطة الأحداث الزلزالية (Correlation by Seismic Events) :

تمثل أسطح الإنعكاس إما أسطحاً طِباقية أو أسطح عدم توافق ، ويرى البعض أن كـــلا منهما يحمل أهمية طِباقية زمنية (Choronostratigraphic Significance). وفي الوقت الحـــالي الذي تمثل فيه الرقائق أو الطبقات أو مجموعـــة الطبقات أســـطحاً قـــد تقطـــع أو لا تقطـــع الحـــدود الزمنيـــة (Isochronus or Diachronus) ، فـــإنَّ عـــدم التوافـــق يحمـــل إيحـــاءً زمنياً لأن الصخـــور فـــوق عـــدم التوافـــق تكون أحـــدث مــــن الصخـــور تحـــت عـــدم التوافق. وتستخـــدم أنماط الانعكاس لمضاهاة الأزمنة الطباقية على المســـتوى المحلـــي فـــي تسمية وتصنيف الوحدات الطِباقية الزلزالية.

وفي الواقـــع تفتقر علاقـــة التوافـــق بين التتابعـــات والسِحــــن الزلزاليـــة و الوحـــدات الطِباقية الصخريـــة مثل المجموعـــة والتكويـــن والأعضاء ، وذلك لأن الوحدات الزلزاليـــة هي في الواقـــع وحـــدات أزمنـــة يمكن أن تقطـــع الوحـــدات الصخريـــة.

ب-الطِباقية المغناطيسية

(Magnetostratigraphy)

تمثل الطِباقية المغناطيسية أحد الأفرع الجديدة لعلم الطبقات التي تهتم بدراسة الخواص المغناطيسية (Magnetic Characteristics) للوحدات الصخرية ، أي أنها تركز أساساً على التعرف (Recognition) وتفسير (Interpretation) ومضاهاة (Correlation) المغناطيسية القديمة المتبقية (Remanent Magnetism) للصخور. وقد طُبِقت الطباقية المغناطيسية في البداية في دراسة الصخور البركانية (Volcanic Rocks) والرواسب التي يقل عمرها عن ٥ مليون سنة، ثم اتسع مجال استخدامها ليشمل كل أنواع الصخور، وتطور مقياس زمن القطبية (Polarity Time Scale) وامتد حتى العصر الجوري.

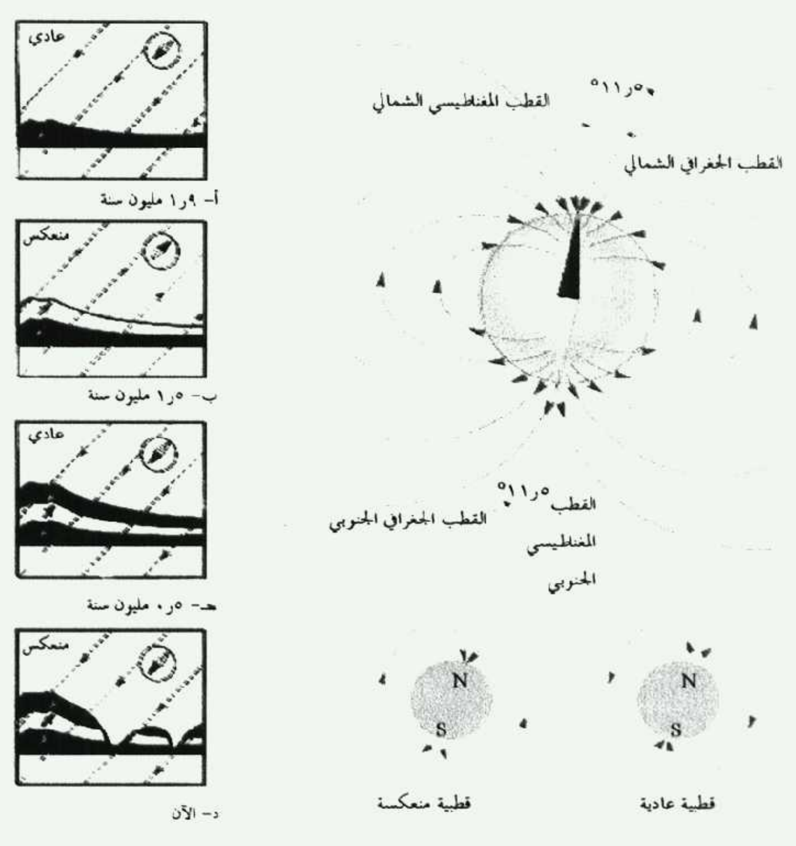
ويتكون المجال المغناطيسي للأرض من مجال ثنائي القطبية (Dipole) أو عديم الأقطاب (Non Pole) . وتُعرف قطبية (Polarity) المجال المغناطيسي على أنها إتجاه طرفه الموجب (Positive End) أو الشمالي واتجاه طرفه السالب (Negative End) أو طرفه الجنوبي (شكل ٩٤). وتحتوي كثير من الصخور على سجل لشدة واتجاه المجال المغناطيسي للأرض عند زمن تكوينها، لذا فإنه يمكن تصور تاريخ المجال المغناطيسي للأرض عن طريق قياس اتجاهاته في أماكن مختلفة في أزمنة مختلفة باستخدام أجهزة قياس الخواص المغناطيسية (Magnetometers). ومن ثم فقد أمكن التوصل إلى نتيجة مدهشة وهي ظاهرة انعكاس (Reversal) قطبية المجال المغناطيسي للأرض. ويُعد تغير الأقطاب المغناطيسية من العادي (Normal Polarity) والذي هو نفس قطبية المجال المغناطيسي الحالي إلى القطبية المنعكسة (Reversal Polarity) ظاهرة عالمية (Universal) (شكل ٩٥).

وتشير سجلات المغناطيسية القديمة إلى وجود دورية (Cyclicity) في انعكاس القطبية خلال عشرات ملايين السنين الماضية حيث ينعكس المجال كل ٥٠٠,٠٠٠ سنة تقريباً، علماً بأ، الاتجاه الحالي لمجال الأرض المغناطيسي لم ينعكس منذ ٧٠٠,٠٠٠ سنة ماضية وحتى الآن. وبالطبع لا يحدث الانقلاب فجأة ويعتقد أن عملية انعكاس الأقطاب تستغرق فترات تتراوح بين ١,٠٠٠ سنة و ١٠,٠٠٠ سنة.

ومن المعتقد أن انعكاس المجال المغناطيسي للأرض له تأثير عالمي واضح، وأنه بالكشف عنه في صخور الأرض فقد ظهرت وسيلة جديدة من وسائل المضاهاة الطباقية حيث يعد نطاق الانعكاس القطبي نطاق مساواة زمنية (Isochronous Horizon) وأيضاً يتعاصر (Synchronous) حدوثه على المستوى العالمي (Global).

وتتعدد أنواع المغناطيسية الحبيسة (Remanent Magnetism) في الصخور، فهناك المغناطيسية المتبقية الحرارية [Thermoremanent Magnetism (TRM)] وهي مغناطيسية قوية تكسبها الصخور النارية أثناء تبردها وتصلبها. وتكتسب أيضاً الصخور البركانية (Volcanic Rocks) مغناطيسية قديمة بعد تبردها. وتوجد أيضاً المغناطيسية المتبقية الفتاتية [Detrital Remanent Magnetization (DRM)] تكتسبها الرواسب دقيقة الحبيبات أثناء ترسبها.

وقد يكتسب الصخر مغناطيسية ثانوية (Secondary Magneization) وتسمى بالمغناطيسية اللزجة [Viscous Remanent Magnetization (VRM)] . يحتوي الصخر عادة على مغناطيسية طبيعية [Natural Remanent Magnetization (NRM)] . وقد يكتسب الراسب مغناطيسية في أثناء العمليات البعدية (Post-Depositional) تعرف بمغناطيسية ما بعد الترسيب [Post-Depositional Remanent Magnetization (PDRM)].



شكل (٩٤) المجال المغناطيسي للأرض، N ، S تشيران إلى الأقطاب الجغرافية.

شكل (٩٥) يوضح القطبية المغناطيسية في فيوضات الحمم المتعاقبة المتكونة في خلال العصر الرابعي ونهاية البليوسين.

تسمية وتصنيف وحدات الطباقية القطبية

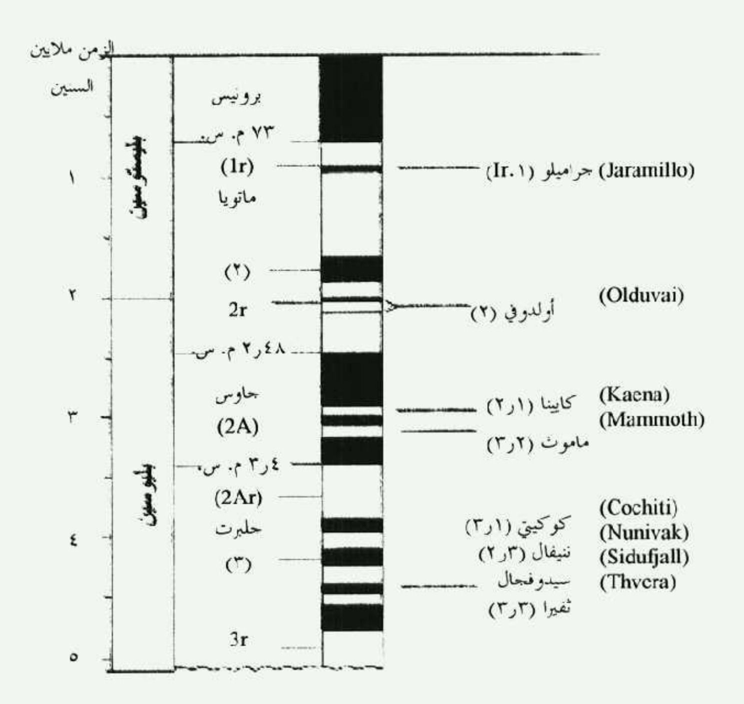
(Nomenclature and Classification of Magnetostratigraphic Units)

في بداية نشأة فروع الطباقية المغناطيسية اشتمل مقياس زمن القطبية (Magnetic Polarity Time Scale) على وحدات غير رسمية (Informal) وهي "العهود" (Epochs) وهي التي يقدر فترة دوام كل منها بأكثر من ١٠٠٠٠٠٠ سنة تقريبا و"الأحداث" (Events) وهي التي يقدر فترة دوام الواحد منها ما بين ١٠٠٠٠ إلى ١٠٠٠٠٠ سنة (شكل ٩٦). وحديثا تم تعريف الوحدات الرسمية للطباقية المغناطيسية حيث تعرف نطاقات الطباقية (منعكسة القطبية) [Magnetostratigraphic Polarity (Reversal Horizons)] على الأسطح أو الفترات الإنتقالية الدقيقة جدا والتي تتميز بتغيرات في القطبية المغناطيسية (Magnetic-Polarity) . وتعرف وحدات الطباقية المغناطيسية (Magnetostratigraphic Polarity Units) على أنها طبقات الصخور في تتابع أصلي (Original Sequence) المتوحدة في قطبيتها المغناطيسية لدرجة تسمح بتميزها عما يجاورها من الطبقات. وحديثا تم تشييد مقياس زمن القطبية لصخور حقبى الحياة المتوسطة والحديثة(شكل٩٧)

ويمثل نطاق القطبية (Magnetostratigraphic Polarity Zone) وحدة رسمية من وحدات الطباقية المغناطيسية تتميز باتجاه استقطاب مغناطيسي واحد أو تتميز بوجود تبادل واضح في القطبية العادية والمنعكسة . وتمثل تحت نطق القطبية (Polarity Subzones) تقسيمات للنطاق، أما فوق نطاق القطبية (Polarity Superzone) فيجمع أكثر من نطاق قطبية. ويوضح جدول (٢٨) رتب وحدات الطباقية المغناطيسية.

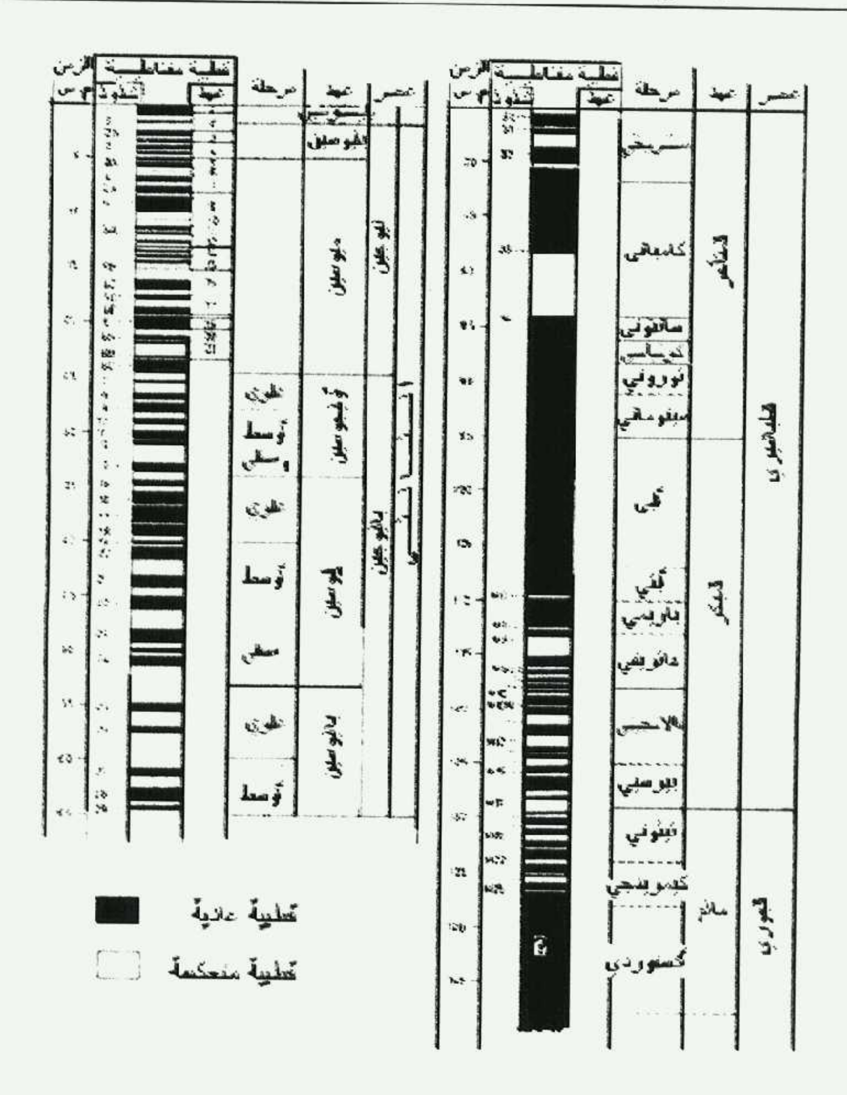
جدول (٢٨) : وحدات القطبية المغناطيسية.

وحدات أزمنة القطبية (Polarity Chronologic Units)	وحدات طباقية القطبية (Polarity Chronostratigraphic Units)
فوق أوان القطبية (Polarity Superchron)	نطاق فوق أوان القطبية (Polarity Superchronozone)
أوان القطبية (Polarity Chron)	نطاق فوق أوان القطبية (Polarity Chronozone)
تحت أوان القطبية (Polarity Subchron)	نطاق تحت أوان القطبية (Polarity Subchronozone)



شكل (٩٦) الانعكاسات المغناطيسية التي حدثت خلال الـ ٥ مليون سنة الأخيرة. حيث يقسم الزمن إلى أوان وتحت أوان عوضا عن التسمية القديمة عهد وحدث على الترتيب. ولقد جرت العادة علـــى تســـمية العهود المغناطيسية على شرف كبيري علماء المغناطيسية الأرضية، إلا أن نظام الترقيم يستخدم في التسميات التي عمرها أقدم من ١٫٥ مليون سنة، وفي الشكل رقمت عهود تحمل الأرقام مـــن ١ إلى ٤ : برونيـــس العادي وماتوياما المنعكس وجاوس العادي وجلبرت المنعكس ويحمل العهد الذي قبل جلـــبرت الرقـــم ٥ وهكذا. وتأخذ أحداث الانعكاس الواقعة داخل العهود أرقام A ، B ، C ، وهكذا مع زيادة أعمارهـــا، بينما تأخذ الأحيد داخل الأحداث أرقاما أخرى أو أعدادا توضع بين قوسين.

(From Lemon 1993, Page 90, Fig. 5.7).



شكل (٩٧) : مقياس الزمن القطبى لحقبى الحياة الحديثة والمتوسطة (حتى الجورى المتأخر).

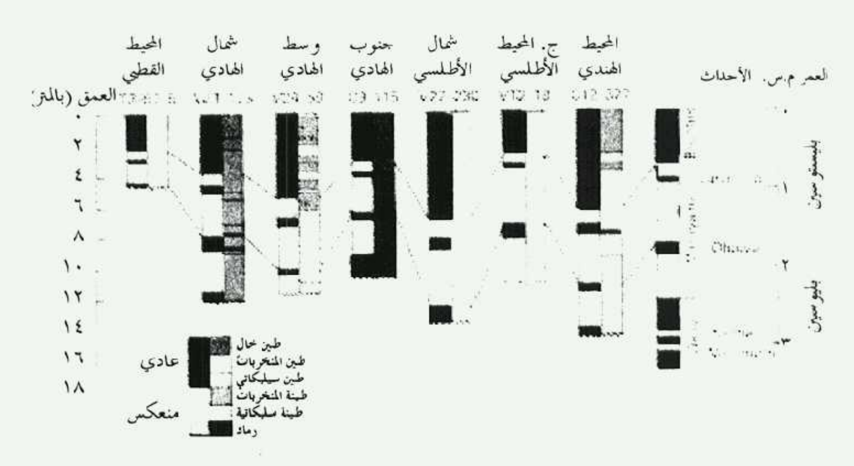
(From Channell,J.E.T., in Sam Boggs, 1987, P.658)

تطبيقات الطباقية المغناطيسية (Applications of Magnetostratigraphy) :

١ – المضاهاة :

تستخدم حاليا الطباقية المغناطيسية بنجاح كبير في عملية المضاهاة حيث لا يكـــون مــن اليسير إجراء المضاهاة الحياتية أو الصخرية. وحيث أنها تعتمد أساسا على ظـــاهرة إنعكـــاس

القطبية، وأن تلك الظاهرة عالمية النشأة تحدث في وقت واحد علـــى الأرض، فـــإن الطباقيـــة المغناطيسية تمثل وسيلة مثلى في المضاهاة العالمية (Global Correlation)، خاص الطباقيـــة الزمنية (Chronocorrelation) . وقد استخدمت تلك الوسيلة في البداية في مضاهـــاة وتقديـــر أعمار صخور قاع المحيط المرتبة على هيئة أشرطة موازية لحيـــد وســـط المحيـــط وكذلـــك تتابعات طبقات الصخور البركانية . وقد طبق استخدامها في البداية في مضاهاة العينات اللبيـــة المختلفة لرواسب المحيط، ثم ازدادت تطبيقاتها لتغطي الفترة الزمنية الممتدة حتى ١٧٠ مليـــون سنة، إلا أنها استخدمت بفعالية عالية في الصخور الأحدث عمرا من ٧ مليـــون ســـنة، وقـــد أسهمت الطباقية المغناطيسية إسهاما كبيرا في مضاهاة رواســـب المحيطـــات لعينـــات لبيـــة أعمارها المطلقة مقدرة، ثم يستخدم نمط القطبية ما بين المنعكسة والعادية في مضاهاة وتقديـــر أعمار الرواسب والصخور الأخرى (شكل ٩٨).



شكل (٩٨) : المضاهاة الطباقية المغناطيسية لعينات لبية مجموعة من المحيط الهادي والمحيط الهندي والمحيـــط الأطلنطي.

(From Boggs, 1987, P. 573, Fig. 15-9).

٢ – هجرة القطب :

يشير اتجاه المغناطيسية (Direction of Magnetization) ناحية القطب المغناطيسي القديـــم وذلك في الصخور القديمة. ويتم تحديد ذلك عن طريق جمع عينات باتجاه محـــدد (Oriented Samples) ولتكن مأخوذة مثلا من أحد الطفوح البركانية، باتباع الخطوات التالية :

١ – تحديد اتجاه الشمال الجغرافي الحالي على العينة باستخدام البوصلة الشمسية.

٢ – تحديد خط أفقي على العينة موازيا لسطح التطبق للطفح البركاني.

٣ – انتزاع العينة حينئذٍ من مكشفها ونقلها إلى المعمل بواسطة مطرقة "شاكوش" أرضية، (Geologic Hammer) وتحديد اتجاه المغناطيسية المتبقية (Remanent) باستخدام أجهزة قياس المغناطيسية (Magnetometers) الحساسة.

٤ – تستخدم جزء من العينة لتقدير عمرها المطلق بالنظائر المشعة أو تحديد العمر بواسطة الأحافير.

٥ – توضع العينة على منضدة أفقية على أن يكون مستواها الأفقي الأصلي موازياً للمنضدة.

٦ – يحدد اتجاه القطب الشمالي (North-Pole Direction) بالنسبة للقطب الجغرافي الحالي على العينة لنضمن أن العينة قد أخذت نفس موقعها الجغرافي القديم في المكشف قبل انتزاعها منه.

٧ – حينئذٍ سوف يشير إتجاه المغناطيسية التي يحتفظ بها الصخر ناحية موضع القطب القديم وتكون الزاوية بين هذا الاتجاه واتجاه القطب الجغرافي الحالي هي زاوية الانحراف (Declination) بين القطب الحالي والقطب القديم.

٨ – يمثل على الخريطة الموقع الذي جمعت منه العينة ثم نرسم خطاً من موقعها بحيث يكون اتجاهه هو نفس الاتجاه المقاس للمغناطيسية القديمة في الصخر، وسيشير هذا الخط إلى القطب القديم.

٩ – ولكي يتم تحديد موضع القطب القديم بدقة على هذا الخط يجب أن تحدد المسافة التي كانت بين مكان تكوين العينة والقطب في ذلك الوقت. وتقدر هذه المسافة بقياس الميل المغناطيسي القديم (Paleomagnetic inclination) للصخر، ومن اتجاه الميل يمكن معرفة ما إذا كان القطب واقعا في نصف الكرة الشمالي أم الجنوبي، وتحدد كمية هذا الميل خط العرض القديم (Paleolatitude) (شكل ٩٩) للموقع الذي تكون عنده الصخر. ولمعرفة المزيد حول مسار القطب المهاجر يرجع إلى الفصل الخامس من هذا الكتاب.

ويمكن بتحديد موضع القطب القديم معرفة التواجدات الغريبة (Exotic) للقطع الصغيرة نسبيا والتي جلبت من أماكن غير الأماكن التي تشغلها حاليا (Suspect Terranes) كما هو الحال بالنسبة لجبال عمان الشمالية حيث امتطت القشرة المحيطية اليابسة.



شكل (٩٩) : زيادة الميل المغناطيسي باتجاه القطب الشمالي واستخدامه في تقدير المسافة بين موضع الصخر والقطب الشمالي.

(From Plumer/McGeary, 1986, P. 421, Fig. 19.8).

٣– تعريف الحدود الطباقية (Definition Stratigraphic Boundaries) :

يمكن معرفة الحد الفاصل بين الكمبري وما قبل الكمبري في ضوء وجود نطاق قطبية منعكسة يليه نطاق مختلط (Mixed Polarity) مضطرب . ويعتقد أيضا أنه توجد علاقة بين فترات الهلاك الجماعي للكائنات (انظرالفصل الأخير من هذا الكتاب) وانعكاس القطبية، أي أن التغيرات الهامة في الكائنات ربما تأثرت بتغيرات المغناطيسية القديمة.

٤– المناخ القديم (Paleoclimatology) :

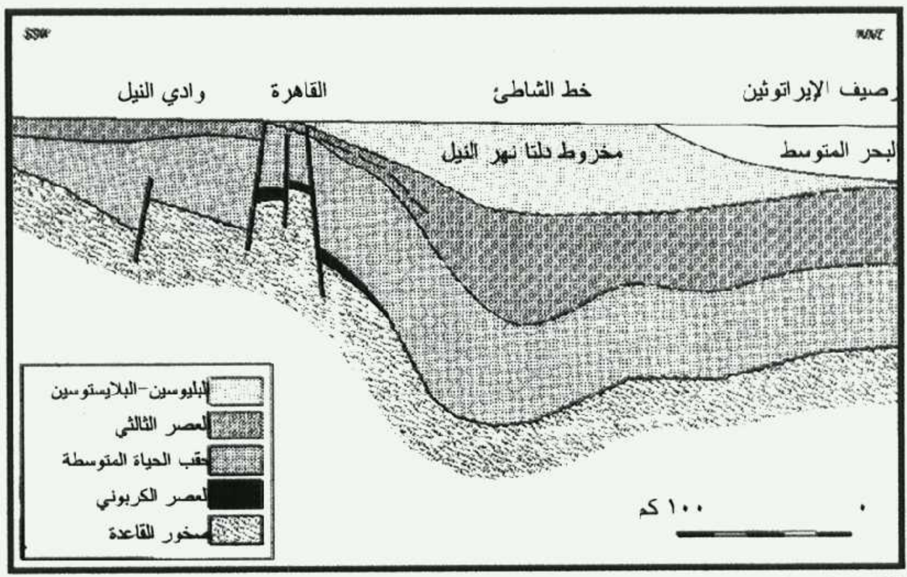
تستخدم المغناطيسية القديمة في تقدير أعمار العصور الجليدية وتغيرات درجات الحرارة في العينات اللبية التي يجمعها مشروع الحفر في البحار العميقة في رواسب الرابعي والبليوسين.

٥– التقدير الزمني (Geochronology) :

تستخدم الطباقية المغناطيسية في تقدير الأعمار النسبية والمطلقة للرواسب والصخور بطريقة غير مباشرة عن طريق مضاهاتها برواسب وصخور تم تقدير أعمارها الزمنية بالنظائر أو باستخدام المعلومات المتعلقة بالأحافير. وتستخدم أيضا في تقدير أعمار الطفوح البركانية من دراسة العينات اللبية (Cores) للرواسب.

الفصل الرابع عشر
الطرق الطِباقية المستخدمة في دراسة طبقات الأرض وتحليل الأحواض
(Stratigraphic Procedures and Sedimentary Basin Analysis)

- طرق دراسة الطِباقية
- التحليل الحوضي
- تقسيم الأحواض الرسوبية
- الخرائط الطِباقية



[From Merlin Exploration Services, Egyptian Central Petroleum Corporation (EGPC), Proprietary Seismic Data (1967-1981), Fig. 5].

الطرق الطِـباقية المستخدمة في دراسة طبقات الأرض وتحـليل الأحـواض الترسيبية

(Stratigraphic Procedures and Sedimentary Basin Analysis)

طـرق دراسـة الطِـباقـية (Stratigraphic Procedures) :

مشروع التخريط أو الترسيم الأرضي (Geologic Mapping Project) :

قبل تحديد طرق الدراسة الطِباقية يلزم معرفة نوعية وطبيعة مشروع الدراسة ، والمشـاكل المتعلقة بالحصول على المعلومات. وتنقسم مشروعات رسم الخرائط الأرضيــة (Geologic Mapping) إلى عدة أنواع أهمها :

١ – مشروع رســم الخرائـط الطِباقيــة الســطحية الإقليميــة (Regional Surface Stratigraphic Mapping) . وتعتمد بالدرجة الأولـى علـى دراسـة المكاشـف السطحية الرأسية وعلى ترسيم الحدود الطِباقية.

٢ – مشروع رسم الخرائـط الطِباقيــة–الرســوبية المحليــة (Local Stratigraphic Sedimentologic Mapping Project). حيث تقـاس جميـع المكاشـف المتاحـة المتواجدة في مساحة عدة كيلومترات مربعة سواء بهدف دراسة خامة إقتصاديــة محددة أو بهدف الدراسة الأكاديمية أو دراسة منطقة إرشادية (Pilot Area). وقـد يلزم في هذه الدراسة حفر آبار ضحلة (Shallow Boreholes).

٣ – مشروع رسم الخرائط تحت السطحية الإقليمية (Regional Subsurface Mapping Project). وتعتمد هذه المشروعات أساساً على دراسات الطبيعة الأرضية (فيزيـاء الأرض) وعلى نتائج الحفر من الآبار الإختبارية مدونة على هئية سجلات بئريــة (Well Logs).

٤ – مشروع رسم الخرائط تحت السطحية المحليــة (Local Subsurface Mapping Project). حيث يتم حفر شبكة من الآبار المتقاربة.

القِطَـاعات المقاسـة (Measured Sections)

القطاع الصخري الجيد : هو الذي يمدنا بمعلومات تفـي بتحقيـق المتطلبـات الحجريــة والأحفورية والعلاقات الطِباقية والسُمك. وفي حالات المضاهاة والتخريط أوالترسيم الأرضـي

يلزم قياس عدد كبير من القِطاعات ، بينما في حالات أخرى مثل ترسيم منطقة منجم ما يلـــزم قياس قِطاع واحد بمنتهى الدقة. وقد تكون فرصة إختيار موقع القطاع محـــدودة نظـــراً لقلــة المكاشف السطحية. وبصفة عامة تختار القِطاعات على الأُسس التالية :

١ – المسافات بين القطاعات.

٢ – كمية العمود الصخري.

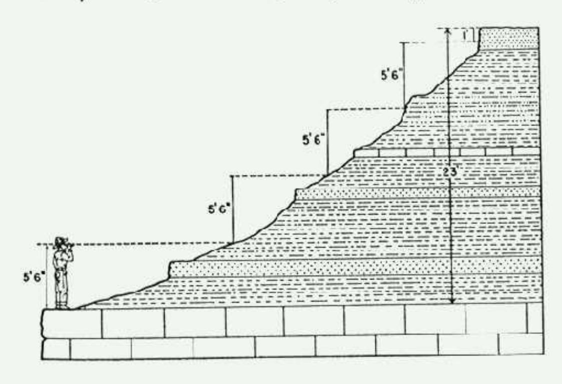
٣ – درجة ظهور المكشف.

٤ – عدم تعقد البُنيات الجيولوجية.

٥ – إمــكانـــــات الموقـــــع.

وصف القطاع : يجب أن يشمل وصف القطاع على ملاحظـــات عـــن سُــمك الوحــدات والعلاقات الطباقية والصخرية والتطبق والبِنْيات الداخلية ومظاهر التجوية والأحافير ... إلـــخ. وتجدر الإشارة إلى أن الوحدات الصخرية المعرفة تقسم إلى طبقات أو مجموعة طبقات. وفـــي حالة الصخور المتجانسة تستخدم درنات الشرت وطبقات الرصيـــص (Conglomerate) فـــي تقسيم الصخور إلى وحدات أقل. وتشمل الصخرية (Lithology) وصف أهم الصخور الســائدة والنسيج واللون والمعادن والمادة اللاحمة وغيرها. وقد يختار القطاع لدراسة العمود الصخـــوي (Rock Column) كله أو دراسة بعض الوحدات الطِباقية فيه. وفي حالة دراسة القِطاع المجمــع يجب أن يبدأ القياس وينتهي بنُطُق مميزة حتى يمكن تتبع الوحدات في القِطاعات الأخرى.

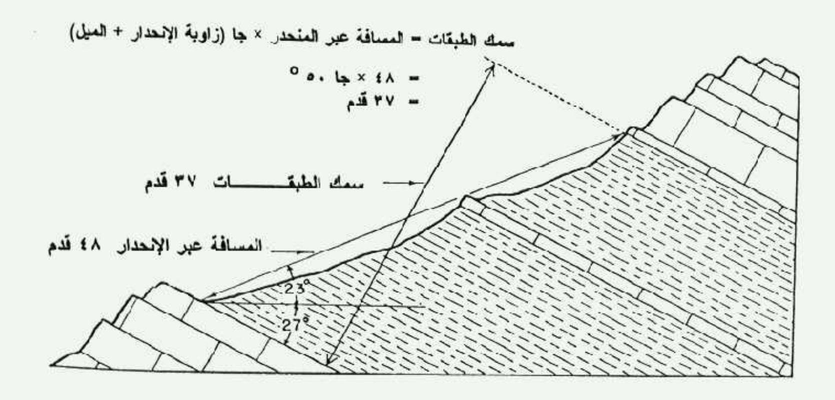
قياس سُمك القِطاع : يقاس سمك الطبقات الأفقية بواسطة الميزان اليدوي للتسوية (Hand Level) وذلك في حالة إذا ماكانت الأرض منحدرة إنحداراً لطيفاً (شكل ١٠٠)، بينما يكـــون من المفيد إستخدام عصا مدرجة في حالة الإنحدارات الحادة نوعاً ما (شكل ١٠١).



شكل (١٠٠) قياس سمك الطبقات الأفقية.

(From Krumbein and Sloss, 1963, P. 59, Fig. 33).

جمع العَيِّنات : يعتمد عدد العَيِّنات التي يتم جمعها من القطاع الطِباقي على الهدف من مشروع الدراسة. وتجمع العَيِّنات لتوضيح الأنسجة والبِنيات ولإجراء دراسات الخصائص الصخرية والدراسات المتعلقة بالطِباقية الحياتية والسِحنات.



شكل (١٠١) قياس سُمْك الطبقات المائلة.

(From Krumbein and Sloss, 1963, P. 60, Fig. 3.4).

العَيِّنات التوضيحية (Illustrative Samples) : تستخدم للعرض في المتاحف والندوات أو للأغراض التجارية وتكمن الصعوبة في عملية نقل هذه العَيِّنات خاصة الكبيرة منها.

عَيِّنات الخصائص الصخرية (Petrography) : عند جمع العَيِّنات بهدف دراسة الخصائص المختلفة يجب الأخذ في الإعتبار حجم العَيِّنة أوْ وزنها والمسافات الطِباقية (Stratigraphic Intervals) ومدى تمثيل العَيِّنة للجسم الصخري المأخوذة منه. وغالباً ماتكون العَيِّنات المجموعة في ملء راحة اليد أو أقل قليلاً. وقد تجمع العَيِّنات بصفة منتظمة على مسافات طِباقية تتراوح مابين ١٠-٥٠ متراً. وتتطلب الدراسات المغناطيسية القديمة عَيِّنات ذات إتجاه محدد (Oriented Samples) **تجمع بطريقة خاصة. وقد يصعب في كثير من** الحالات جمع عَيِّنة واحدة ممثلة للوحدة الطِباقية إلا إذا كانت هذه الوحدة متجانسة تماماً.

عَيِّنات الطباقية الحياتية : يتوقف عدد عَيِّنات الأحافير المجموعة على وفرتها أو ندرتها في القطاع وأيضاً على مدى إلمام الدارس بعالم الأحافير ، حيث يكون بمقدرته التعرف عليها مباشرة في الحقل ، خاصة الأحافير الكبيرة ، مع تسجيل أسمائها في كراسة الحقل. وإذا ما تعذر عليه ذلك فلسوف يجمع مايراه مناسباً وهاماً من الناحية الطِباقية أو الأحفورية. وكأساس

عام ، يجب أن تجمع العَيِّنات من الطبقة نفسها وترقم بوضوح مع تحديد وضعها الطِباقي. أما الأحافير المجمعة من خارج الطبقة من الأودية أو على المنحدرات فهي قليلة ، بل عديمة القيمة. ويفضل لدراسة الأحافير الدقيقة جمع عَيِّنات صخرية على مسافات متقاربة جداً من تتابعات الصخور خاصة عند الحدود الطِباقية مع التركيز على نطاق التدرج بين الوحدات الطِباقية الصخرية.

المعلومات الحقلية : يجب تسجيل جميع المشاهدات الحقلية بما في ذلك المعلومات غير الجيولوجية المتعلقة بالطقس وأماكن الإستراحات وموارد المياه ، وننصح باستصحاب دليل خبير بدروب المنطقة ، خاصة المناطق الوعرة التي لم يرد عليها الدارس من قبل مع الإلتزام باتباع تعليمات الأمن والسلامة.

ومن أهم المعلومات الحقلية التي يجب تدوينها الصِّفات العامة للصخور، وألوانها، والبِنيات الرسوبية، ومظاهر التجوية مثل الذوبان (Dissolution) ، وتغير الألوان، وأشكال أسطح التعرية، وتضاريس الصخور، ومقارنة الأسطح النَدِيَّة الطازجة (Fresh Surfaces) بالأسطح المعراه (Eroded Surfaces) وأوجه التشابه والإختلاف بين كل منهما، وتوزيع الأحافير في القطاع، والتعرف عليها، وعلى ظروف دفنها، وتسجيل سُمْك الطبقات (Thickness) وقياس كل من مضاربها وميلها (Strikes and Dips) ... إلخ. كما يجب الإهتمام بتصوير المنطقة فوتوغرافياً.

أدوات الحقل الضرورية : يجب الحرص على التزود بالأشياء التالية في أثناء العمل الحقلي:

١) مستلزمات شخصية مثل اللباس المناسب والحذاء المتين المناسب وغطاء الرأس وزمزمية المياه وشنطة قماش مناسبة ، وبعض الأطعمة والأدوية الضرورية.

٢) الأدوات البسيطة مثل مفكرة الحقل (Field Note Book) ، وأقلام رصاص ، وأقلام مُعَلِّمة (Maker Pens) ، وأكياس قماش ، وأكياس بلاستيك ، وأوراق لصق ، وآلة تصوير ، وأفلام ، وعدسة جيب مكبرة ، وحامض هيدروكلوريك مخفف وغيرها .

٣) بوصلة جيدة وشريط أو جنزير مدرج.

٤) مطرقة للدراسات الأرضية (Geologic Hammer).

٥) خرائط أرضية (Geologic Maps) ، وخرائط شكل الأرض (Topographic Maps) وصور جوية (Aerial Photographs).

٦) سيارة مناسبة للحقل (رباعية الدفع).

٧) ذكر دعاء السفر والتهليل على كل شرف (مرتفع) والتسبيح على كل منزل (منخفض).

التحليل الطباقي للأحواض الرسوبية (Stratigraphic Analysis of Sedimentary Basins of Deposition) :

التحليل الحوضي هو برنامج دراسي متكامل تُطبق فيه مبادئ الترسيب والطِباقية والجيولوجيا البِنيوية من أجل فهم الصخور التي تملأ هذه الأحواض رغبة في معرفة التاريخ الأرضي وتقدير الأهمية الإقتصادية لمكونات الحوض.

أساسيات تقسم الأحواض الرسوبية : يمكن تقسيم أغلب الأحواض الرسوبية في ضوء المُعطيات الثلاث التالية:

١ – نوع القشرة التي يستند عليها الحوض.

٢ – موضع الحوض بالنسبة لأطراف الألواح البنائية.

٣ – حيثما يقع الحوض بالقرب من حافة اللوح البنائي يجب تحديد نوع حركة اللوح أثناء الترسيب.

نماذج الأحواض : تتطلب دراسة الحوض مناقشة النقاط التالية:

١ – عملية اللوح الذي تولد عنه الحوض.

٢ – آلية هبوط القشرة.

٣ – البِنية الأرضية للحوض.

٤ – النمو المطرد المثالي للأنظمة الترسيبية.

تقسيم الأحواض الرسوبية :

يضم التقسيم المتبع هنا مزج تقسيمي الباحث ميل (Miale) عام ١٩٨٤م وميتشيل وريدنج (Mitchell and Reading) عام ١٩٨٦م على النحو التالي :

(١) الأحواض المِجَنية أو أحواض الراسخات (Cratonic Basins) و أحواض الخسف القاري (Continental Rifts) :

أحواض الراسخات أو الأحواض الداخلية (Interior Basins) : تمثل هـذه الأحـواض إعوجاجاً أو إلتواءاً كبيراً نسبياً يقـع فـي الراسـخ ، وتمتلـيء برواسـب البحـار القاريـة (Epicontinental Seas) المكونة من الكربونات ورواسب البخر (Evaporites) بالإضافة إلـى الرواسب غير البحرية (Nonmarine Sediments). وتنشأ هذه الأحواض بآليات عـدة تشـمل نشاط البقع الساخنة (hot spots) في وشاح الأرض (Mantle) وهبوط الأرض نتيجة خسف الحوض وتبريد الأرض بعد تعرضها لحدث حراري (Thermal Event) مثل تداخل الأجسـام النارية (Igneous Intrusions).

الخسف القاري (Continental Rift Basins) : يمثل الخسف أودية تحدها صـدوع تنشـأ داخل القارات مثل خسف شرق أفريقيـا (East African Rift) الـذي يمتـد لمسـافة ٣٠٠٠ كيلومتراً وبعرض يتراوح مابين ٣٠-٤٠ كيلومتراً، وتمثل أحواضاً ترسيبية داخلية.

(٢) أحواض الحافة المتباعدة (Divergent Margin Basins) (شكل ١٠٣):

أ – **أحواض حافة المحيط** (Oceanic Margin Basins) .

– **الحافة القارية الآمنة أو المنخسفة** (Passive or Rifted Continental Margin) :

تسمى هذه الأحواض أيضاً أحواض النوع الأطلسي (Atlantic-Margin Basins) (شـكل ١٠٢). وبصفة عامة ، يمر نمو أحواض حواف التباعد بثلاث طـرق حركيـة (Tectonic Styles) :

١ – الصدوع الناشئة عن الشد (Extensional Faults).

٢ – الإنهـيارات العمـلاقـة (Giant Slumps).

٣ – البُنـيـات الملحـيـة (Salt Tectonics).

وتتميز هذه الأحواض بتكوين منشور رسوبي (Sedimentary Prism) وانعـدام أو قِلَّـة النشاط الزلزالي ، كما أنه لاتوجد أقواس جزر ولا أخاديد بحرية. ويمتلىء الحوض برواسـب المناطق الضحلة من الطين والكربونات ورواسب البخر ، وأيضاً الرواسـب المتكونـة عنـد الأعماق المتوسطة من رواسب الطين في المنحدر القـاري (Continental Slope) ورواسـب العكر (Turbidites) في المُرتَفَع القاري (Continental Rise).

استمرار عملية التصدع تنمو سلسلة من الأحواض الخسيفة (Grabens) وشـــبه الخســـيفة والكتل المصدعة (Faulted Blocks) (شكل ١٠٣) وقد يصل عرض حـــزام التصـــدع إلـــى ١٠٠٠ متر.

ويطرأ سؤال عن موضع أحواض الخسف السابقة أو بمعنى آخر لماذا يتواجد وادي البحـــر الأحمر الخسيف (Red Sea Rift Valley) في موضعه الحالي من الأرض؟ وتكمن الإجابـــة في حقيقة الضغط الناشيء في اللوح الحركي والذي يتولد عنه خسف عـــبر خطـــوط ضعـــف قديمة أو لأن القشرة تكون أرق في هذا الموضع ، وتعتبر إعادة فتح المحيط الأطلسي الحـــالي بالقرب من خط درز إلتحام إيابتس (Iapetus) دليلاً على تأثير خطوط الضعف القديمة فـــي تكوين أحواض الخسف.

ب – ألأحواض المجهضة(الساقطة) أو أحواض الخسف (Aulacogene or Rifted Basins):

يمثل ذراعاً ساقطاً عند نقطة إتصـــــال ثلاثـــية (Triple-Point Junction) (شكل ١٠٤)

(٣) الأحواض المحيطية والمرتفعات (Oceanic Basins and Rises) :

تتواجد في أجزاء مختلفة من قاع المحيط العميق ، وتنشأ من الخسف والهبوط المصـــاحبين لإتساع المحيط ، وتشمل الأحواض المقوسة لأســـفل (Sag Basins) والأحـــواض المحاطـــة بالصدوع.

(٤) أحواض الحواف المتقاربة (Convergent Margin Basins) :

تمثل عناصر التقارب (شكل ١٠٥) المكونات التالية :

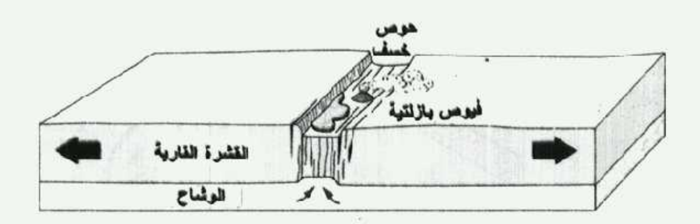
١) **القوس (Arc)** : أو القوس البركاني الذي يعلو عن سهل البحـــر العميـــق (Abyssal Plain) بحوالي كيلومتراً واحداً أو يزيد عرضه إلى عدة كيلومترات.

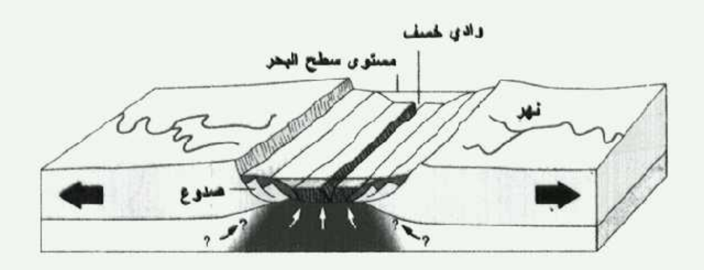
٢) **الأخدود** (Trench) : ويمثل منخفضاً يصل عمقه إلى أحد عشر كيلومتراً ويقع أمـــــام القوس ، وتتكون فيه رواسب العكر ورواســـــب الهائمـــــــــــات (Plagic Sediments) وإن كانت أغلب هذه الأحواض فارغة.

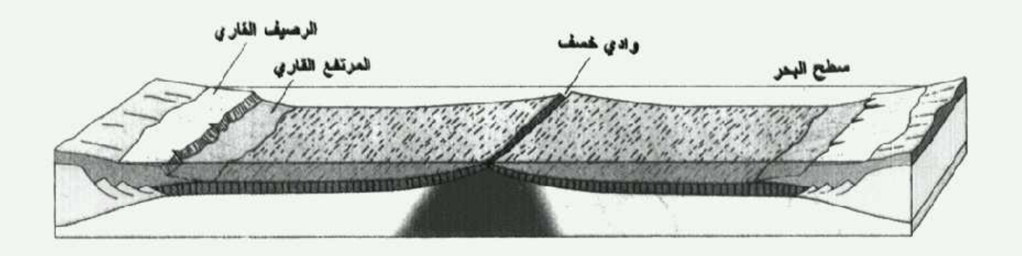
٣) **نطاق السحج أو الانضواء أو الغطس أو الانْدِسَـــاس** (Subduction Zone) : ويمثـــل نطاقاً يقع بين اللوح الراكب واللوح المركوب ، ويميل بزاوية تـــتراوح بيـــن ١٠–٨٥ درجة . ويمكن تتبعه حتى عمق ٦٠٠ كيلومتر، ويســـمى نطـــاق بِنيُـــوف (Benioff Zone).

٤) حوض جبهة القوس (Forearc Basin) : ويكون على هيئة درع يقـــع أمـــام القـــوس البركاني.

٥) حوض مؤخرة القوس (Backarc Basin).





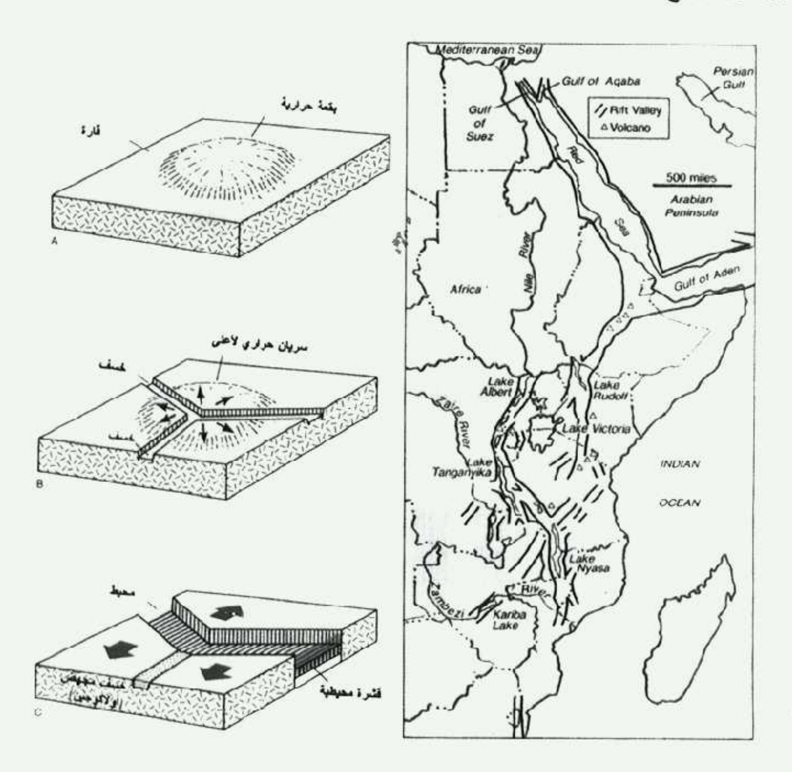


شكل (١٠٢) أحواض الحواف المتباعدة. تؤدي حواف الألواح المتباعدة المتكونة في وسط القارة في النهاية إلى تكوين محيط جديد.

(From Plumer and McGeary, 1996, P. 431, Fig. 19.22).

– أحواض نوع البحر الأحمر (المحيط الشاب) (Red Sea Type Basins) :

حيث يتكون الخسف الأول عند قمة الْمُرتَفَع (Uplift) أو قريباً منها ويسمى حينئذ حوض قوسي خسيف (Rifted arc Basin) ، وعادة يصل عرضه إلى خمسين كيلومتراً. ومع

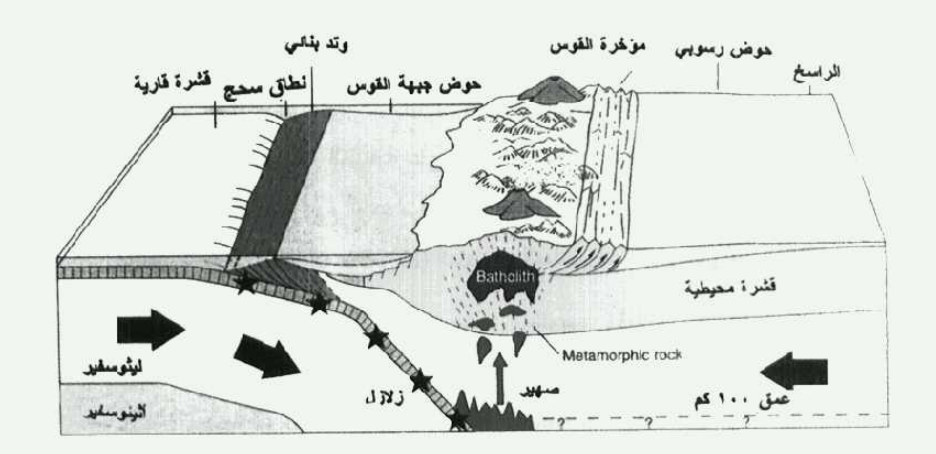


شكل (١٠٣) أودية خَسْف شرق أفريقيا والبحر الأحمر.

(From Plumer/McGeary, 1996, Page 432, Fig. 19.23).

شكل (١٠٤) تقطيع القارة وتكوين حوض الْخَسْف.

(From Plumer/ McGeary, 1996, Page 444, Fig. 19.44).



شكل (١٠٥) أحواض الحواف المتقاربة وغيرها من الظواهر الناشئة من تقارب قارة ومحيط.

(From Plumer and McGeary, 1996, Page 436, Fig. 19.33).

(٥) الأحواض المتكونة أثناء التصادم القاري (Basins Formed During Collesion) :

يظهر تاثير التصادم في الظواهر التالية:

١) تشوه عنيف وتحـــــول وتداخل ناري.

٢) نمو أقواس الجـــزر (Island Arcs).

٣) حركات تَجَـبُّليــة (Orogens).

٤) تجمع الفتاتيات على جانبي جبال التصادم مكونة الأوتاد الفتاتية (Clastic Wedges).

هذا وتشمل أحواض التصادم الأنواع التالية :

- أحواض جبهة الأرض (Foreland Basins).
- الأحواض الحافـــــية (Peripheral Basins).
- أحواض الْخِلْجَان داخل الدروز (Intera-Suture Embayment Basins).

٦) توجد أحواض الصدع الإنزلاقي المضربـي (Strike-Slip/Transform Fault Related Basins) عبر أُحَيْد أو أعراف الإتساع (Spreading Ridges) والحدود الإنتقالية بين الألـــواح القارية وعلى حواف القارات وفي داخل القارات فوق القشرة القارية.

أشرنا فيما سبق إلى تقسيم الأحواض في ضوء عناصر الألواح البنائية وهذا يمثـــل أحـــد أساسيات تحليل الأحواض. أما مايتعلق بالمكونات التي تملأ الحوض فتقع خارج نطـــاق هـــذا الكتاب حيث يمكن دراستها في علم الصخور الرسوبية والترسيب.

الخرائطالطِباقية (Stratigraphic Maps) :

مما لاشك فيه أن الخريطة أيا كان نوعها تعتبر أكثر فعالية في توضيح المعلومة الأرضية (Geologic Information). وتهتم الخرائط الطِباقية بطريقة إعداد وتفسير الخرائط المستخدمة في التحليل الطِباقي. وتعرف الخريطة الطِباقية على أنها الخريطة التي توضح تشكل وعوامل الوحدة الطِباقية أو الأسطح الطِباقية وتوزيع الوحدات. ويُعد النِطاق الطِباقي أو مايطلق عليه الطبقة المميزة (Marker Bed) أو الطبقة المفتاح (Key Bed) العنصر الأساسي في رسم الخرائط الطِباقية.

تقسيم الخرائط الطِباقية : قسم كلاً من كرومباين وسلوس (Krumbein and Sloss, 1963) الخرائط الطِباقية إلى ثلاثة أنواع :

١ – خرائط هندسة الجسم الصخري الخارجية (External Geomtery of the Rock Body).

٢ – خرائط مكونات الجسم الصخري (Composition of the Rock Body).

٣ – خرائط مستنتجة (Derived Maps) والمدمجة (Integrative Maps) والمفسرة (Interprative Maps).

وقد تم اعتماد هذا التقسيم في هذا الجزء من الكتاب ، وسوف يتم فيما يلي عرض طرق تحضير بعض هذه الخرائط.

١– خرائط لهندسة الجسم الصخري الخارجية (Maps for the External Geometry of the Rock Body) :

خرائط منسوب البُنية (Structure Contour Maps) وهي تظهر الشكل الهندسي لسطح الجسم الصخري ، ويعبر عنها بخطوط المناسيب (Contours lines) ذات القيم المتساوية تحت أو فوق مستوى مختار (Datum) ، وهو غالباً ما يكوّن مستوى سطح البحر . ويتم إعداد هذه الخرائط عن طريق رسم خطوط مناسيب الإرتفاعات المتساوية عند نقط التحكم على الخريطة. وتُعد هذه الخرائط للوحدات السطحية أو التحت سطحية. والإرتفاعات تمثل حد (Contact) تكوين محدد أو طبقة مميزة أو عاكس (Reflector) تحدده دراسات فيزياء الأرض (Geophysics) أو أسطح القاعدة (Basment Rock Surfaces). ويعتمد مقياس رسم الخريطة (Scale) وفارق المنسوب (Interval Contours) لهذه الخرائط على الهدف من الدراسة وعلى دقة المعلومات والمسافة بين نقط التحكم المتاحة (Controlling Points).

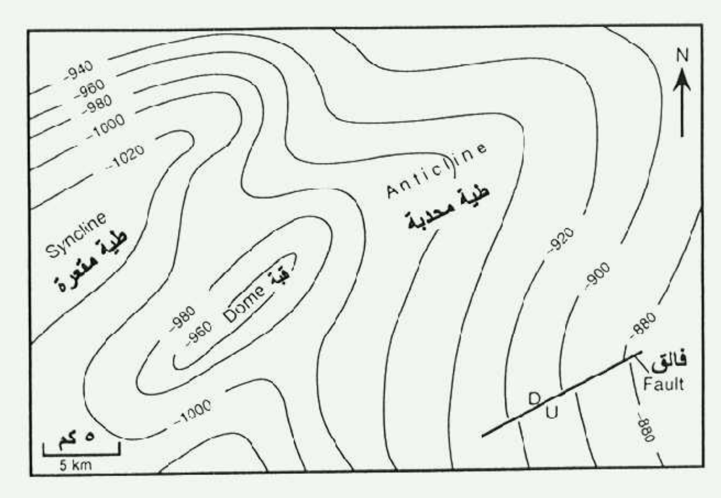
وتُعد خرائط مناسيب البُنية في مجال التنقيب النفطي بتحويل الأعماق المسجلة إلى أعماق تحت سطح البحر وطرح قيمة إرتفاع الأرض (Ground Level) عند نقاط التحكم من العمق المسجل للسطح المراد تخريطه. فعلى سبيل المثال يمكن رسم خريطة منسوب بُنية سطح جسم الشعاب (Reef) عند ٨ نقاط تحكم بتسجيل العمق اللازم للوصول إلى هذا السطح

مقاساً من مستوى سطح البحر عن طريق طرح قيمة إرتفاع الأرض فوق مستوى سطح البحر من العمق المسجل في الآبار (جدول ٢٩).

جدول (٢٩) البيانات اللازمة لإعداد خريطة مناسيب البُنية لسطح شعاب عند ثمان نقاط تحكم.

نقطة التحكم	إرتفاع سطح الأرض (متر)	عمق سطح الشعاب (متر)	العمق تحت مستوى سطح البحر (متر)
١	٩٠	١٣٠	٤٠
٢	٨٥	١٢٥	٤٠
٣	٦	٤٦	٤٠
٤	١٥	٥٥	٤٠
٥	٣٠	٩٠	٦٠
٦	٢٠	٨٠	٦٠
٧	٢٥	٨٥	٦٠
٨	٢-	٥٨	٦٠

وتفيد خرائط مناسيب البُنية في تحديد الوضع العام للصخور والتعرف على البُنيات الأرضية من طيات وصدوع وفي رسم تضاريس الأحواض وتحديد مركز الحوض (شكل ١٠٦).



شكل (١٠٦) خريطة منسوب البُنية حيث تعكس بعض البُنيات الجيولوجية.

(From Sam Boggs, Jr., 1995,P.679, Fig.19.8)).

ويتم رسم خريطة رسم مناسيب البُنية بإحدى الطرق الثلاثة التالية :

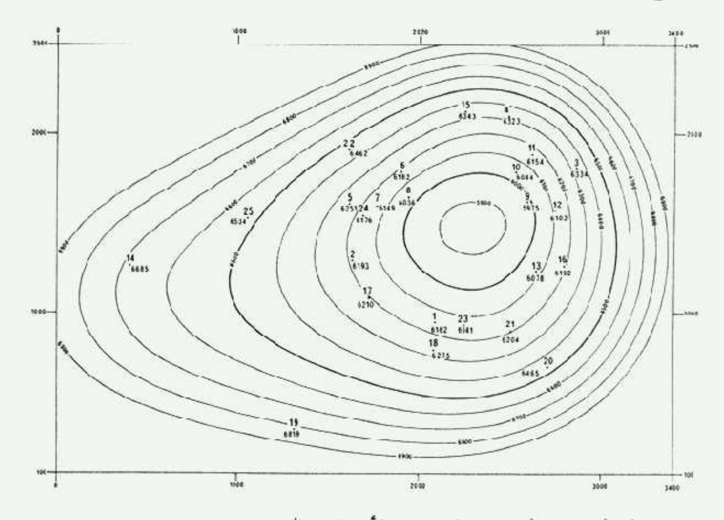
١ – رسم خطوط المناسيب يدوياً أو آلياً ويتم فيها توزيع الفرق في العمق بين نطاق التحكم بطريقة حسابية.

٢ – رسم خطوط المناسيب بحيث تكون المسافة بينها متساوية (Equal-Space Contouring).

٣ – رسم خطوط المناسيب بطريقة إستنتاجية مفسرة (Interprative Contouring).

خرائط السُمك المتساوي (Isopach Maps) :

تمثل هذه الخرائط السَماكَات المختلفة للوحدة الطباقية عن طريق رسم خطوط المناسيب المارة بالنقاط ذات السُمك المتساوي (شكل ١٠٧). وترسم هذه الخرائط للوحدات المتكشفة على السطح والمختفية تحت الثرى على حدٍ سواء. ويلزم لتقدير سُمك التكوين أو الوحدة الطِباقية طبقتين مميزتين أو سطحين فاصلين من عدم التوافق يمثل أحدهما قمة الوحدة بينما يقع الآخر عند قاع الوحدة.



شكل (١٠٧) خريطة السمك المتساوي لإحدى الأحواض الرسوبية.

(From Well Evaluation Conference Arabia, 1975).

وتعتبر خرائط السُمك المتساوي من أهم الأدوات في التحليل الحوضي فهي تعطي تفسيراً لبُنية الحوض خاصة عند إنتقاء العلامات المميزة واسعة الإنتشار. كما يمكن دراسة تاريخ

الحوض الرسوبي عن طريق رسم سلسلة من تلك الخرائط للوحدات الطِباقية المتعاقبة التي حدثت لبُنية الحوض عبر الزمن.

هذا بالإضافة إلى أن مناطق أقصى سمك للوحدة الطباقية تشير إلى وجود مراكز ترسيب في الحوض بينما الأجزاء قليلة السمك للوحدة الطباقية تدل على رفع تلك الأجزاء بعد الترسيب أو تآكلها لاحقاً. وأخيراً فإن خط السمك صفر ربما يمثل خط الشاطيء الذي كان يرسب الوحدة الطباقية أو يمثل حواف التآكل للحوض الرسوبي.

٢ - خرائط مكونات الصخور (Rock Composition Maps)

وتشمل هذه الخرائط الأنواع التالية :

١ - خرائط السحنات الإعتيادية (Conventional Facies Maps)

٢ - خرائط الإختلافات الرأسية (Vertical Variability Maps)

٣ - خرائط الهندسة الداخلية والمكونات (Maps of Internal Geometry and Composition).

خرائط السحنات الإعتيادية : تشتمل هذه الخرائط على ثلاثة أنواع هي :

أ - خرائط سماكة نوع واحد من الصخور (Single Component Maps).

ب - خرائط النسبة المئوية لنوع واحد من الصخور (Percentage Maps).

جـ - خرائط النسبة والتناسب (Ratio Maps).

أ-خرائط سَمَاكَة نوع واحد من الصخور (Single Component Maps=Isolith maps) :

تمثل نوعاً من خرائط السَّماكة المتساوية والخاصة بنوع معين من الصخور مثل الحجر الرملي (Sandstone)، ويتم تحضيرها عن طريق حساب سُمْك الحجر الرملي في التتابع الصخري بغض النظر عن موقع ذلك في القطاع، ثم تسجل القيم عند نقطة التحكم ، وترسم خطوط المناسيب وتسمى تلك الخريطة باسم خريطة سمك الحجر الرملي (Sandstone Thickness Map) (شكل ١٠٨).

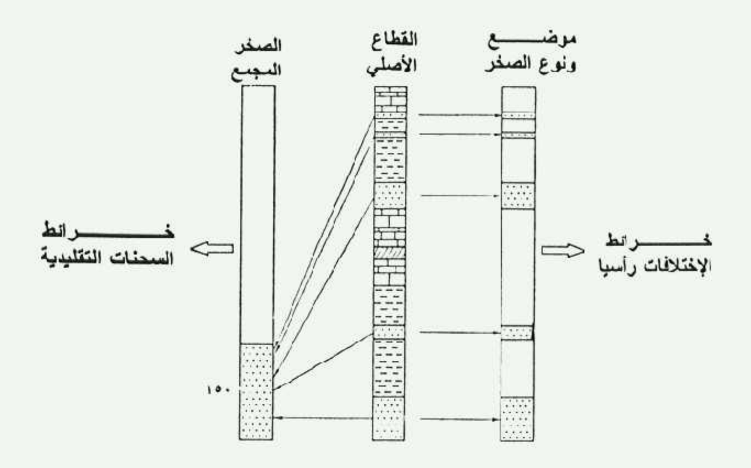
ب-خرائط النسبة المئوية لنوع واحد من الصخور (Percentage Maps) (شكل ١٠٩-أ): تستخدم في هذه الخريطة النسبة المئوية لسماكة نوع من الصخور المتواجدة في القطاع.

جـ- خرائط النسبة والتناسب (Ratio Map) (شكل ١٠٩-ب):

تستخدم في هذه الخريطة نسبة وتناسب سُمك نوعين أو أكثر من الصخور مثل (الرمل : الطين) ، (الدلوميت : الحجر الجيري) .

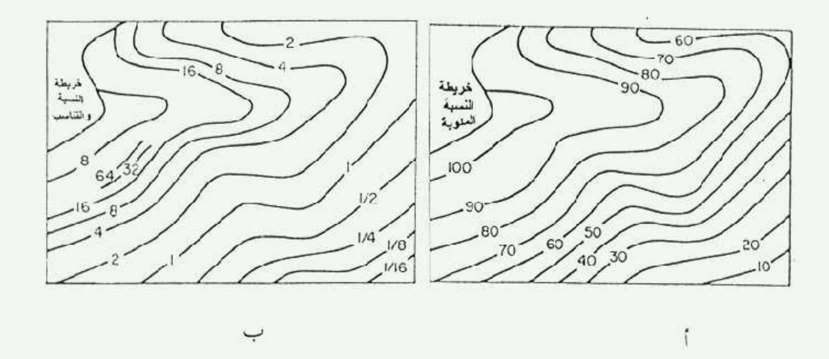
النسبة المئوية لسمك نوع من الصخور = السُمك المجمع لهذا النوع من الصخـــــــور / السُــــمك الكـــــــلي لصخـــــــور القطـــــــاع × ١٠٠

ثم تستخدم القيم في رسم خطوط مناسيب خريطة النسبة المئوية.



شكل (١٠٨) طريقة تحضير خريطة سمك نوع واحد من الصخور في القطاعات المختلفة واستخدام القيم الناتجة في ذلك.

(From Krumbein and Sloss, 1963, Page 452, Fig. 127)



شكل (١٠٩) أ- خريطة النسبة المئوية ، ب- خريطة النسبة والتناسب.

(From Krumbein and Sloss, 1963, Page 45, Fig. 12-8).

جـ- خرائط النسب الفتاتية (Clastic Ratio Maps) : عُرفت النسبة الفتاتية على أنـــها نسبة السُمك الكلي المجمع للرواسب الفتاتية إلى الرواسب الغير فتاتية.

$$\frac{\text{(الرصـــيص + الحجر الرمـــلي + الطَّفْـــلة)}}{\text{(الحجر الجيري + الدلوميت + المتبخرات + الفحم)}}$$

وتوقع القيم الناتجة من الحساب عند نقطة التحكم وترسم خطوط المناسيب سواءً يدويـــاً أو عن طريق الحاسب الآلي وتستخدم هذه الخريطة أساساً عند ترسيم حافة حزام الفتاتيات الـــذي يحيط برصيف الكربونات أو حوض المتبخرات.

خريطة السحنات ذات المكونات الثلاث (Three-Component Facies Maps) : ويتـــم رسم خرائط السحنات عديدة المكونات عن طريق :

١- حساب النسبة الفتاتية السابق ذكرها.

ب- حساب نسبة الرمل إلى الطَّفْلة (Sand/Shale Ratio).

جـ- تمثيل القيم المحسوبة في مثلث السحنات (Facies Triangle) لمعرفة الإسم المناسب.

٤- توضيح الحجرية Lithology عند نقط التحكم باستخدام الرموز مثـــل (sh) للطَّفْلـــة (ss) للحجر الرملي (.congl) للرصيص و(m) للمارل أو غير ذلك من العلامات (شـــكل ١١٠) ويمكن الإستعانة بالمسميات التي وضعها كرومين وسلوس (جدول ٣٠) ولمزيـــد مـــن الإيضاحات يرجع القاريء إلى كتابهما (Stratigraphy and Sedimation, 1963).

٥- رسم الحدود الفاصلة بين أنواع الحجرية المختلفة.

المقاطع الطِباقية (Stratigraphic Cross Sections) :

تُعدّ المقاطع الطِباقية أداة حيوية في كل من المضاهـــاة الطِباقيـــة والتفســـير البُنيـــوي ودراسة التغيرات السّحنية. وفيما يتعلق بالتحليل الحوضي ، توجد ثلاثة أنواع مـــن المقـــاطع الطِباقية :

١ - مقاطـــع تفصيليـــة للأجســـام الصخريـــة (Lithosomes) مـــن أجـــل معرفـــة هندســـة الأحـــواض التي تـــوجـــد على مستـــوى صغيـــر. وتُرســـم في حالتـــها المثاليـــة بمقيـــاس رسم أفقي ١ : ٤٠٠٫٠٠٠ - ٥٠٠٫٠٠٠ وبمقياس رســـــم رأســـي ١ : ٥٠٠ - ٣٠٫٠٠٠.

٢ – مقاطـــع المضاهـــاة السحنيـــــة العامـــــة لمعرفـــــة توزيـــــع الأنظمـــــة الترسيبيـــة ، وترســم بمقيـــاس رســم أفقـــي ١ : ٠٠٠ر٣٠٠ – ٠٠٠٠٠٠ر١ ومقيـــاس رأســـي ١ : ٥٠٠٠ – ٠٠٠ر١٥٠.

٣ – مقاطـــع تظهـــر التتابعـــات الرسوبيـــة الكبـــرى والأنظمة البـــارزة للسِـحنات وبعض عناصر البنيـــة الإقليميـــة.

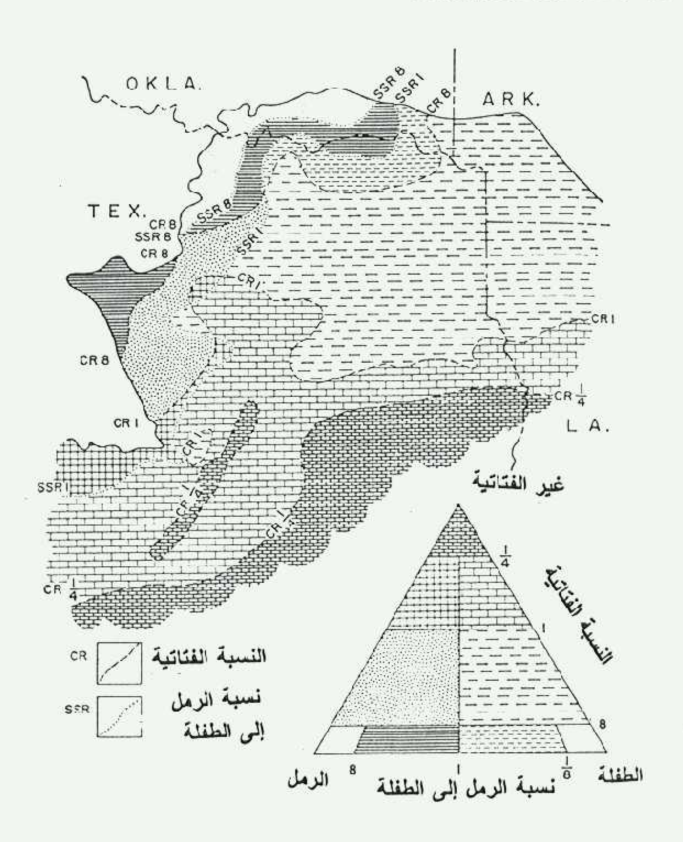
جدول (٣٠) حدود وخواص المجموعات الحجرية .

(From Krumbein and Sloss, 1963, Page 463, Table 12.4).

المجموعة	حد النسبة الفتاتية	حد الرمل: الطفلة	المميزات العامة
حجر رملي	< ٨	<٨	نسبة الحجر الرملي >٧٩%
رمل – طَفْلة	< ٨	١–٨	الرمل أكثر من الطَّفْلة ، الحجر الجيري أقل من ١١%.
طَفْلة – رمل	< ٨	١–١٢٥ر٠	الطَّفْلة أكثر من الرمل ، الحجر الجيري أقل من ١١%.
طَفْلة	< ٨	>١٢٥ر٠	نسبة الطَّفْلة >٧٩.
رمل – جير	١–٨	<١	الرمل أكثر من الطَّفْلة، لحجر الجيري من ١١–٥٠%.
طَفْلة – جير	١–٨	<١	الطَّفْلة أكثر من الرمل ، لحجر الجيري من ١١–٥٠%.
جير – رمل	٢٥ر٠–١	> ١	الحجر الجيري من ٥٠ إلى ٨٠% ، الرمل أكثر من الطَّفْلة.
جير – طَفْلة	٢٥ر٠–١	> ١	الحجر الجيري من ٥٠–٨٠% ، الطَّفْلة أكثر من الرمل.
حجر جيري	> ٢٥ر٠	جميع القيم	أكثر من ٨٠% حجر جيري.

وتأتي المعلومات اللازمة لتشييد المقاطع الطِباقية من دراســـة المكاشـــف الســطحية والسجلات الصخرية التحت سطحية. وتختلف عن المقطع الأرضي (Geologic Section) في أنها لاتوضح المقاطع التضاريسية (Topographic Profiles) ولا البُنيات ، وإن كـــان مـــن الممكن التعبير عن البُنيات بصور توضيحية. وأخيراً فإن المقياس الرأسي للمقـــاطع الطِباقيـــة يختار بحيث يعبر عن التفاصيل الطِباقية.

وترسم المقاطع الطِباقية عن طريق رسم الأعمـــدة الطباقيـــة (Stratigraphic Columns) بجانب بعضها البعض في اتجاه جغرافي مناسب. وقد تكون المسافات بين الأعمدة متســاوية أو مختلفة أو محددة وفقاً لمواقعها الجغرافية. والمقاطع الطِباقيـــة ترســم فـــي بعديـــن (Two Dimensions) ومن الممكن تمثيل المعلومـــات فـــي مجســمات ذات أبعــاد ثلاثـــة (Tree Dismensional or Fence Diagrams).



شكل (١١٠) خريطة مثلث السحنات لمجموعة ترانياتي، صخور الطباشيري.

(Modified from Forgston, in Krumbein and Sloss, 1963, P. 464, Fig. 12.11).

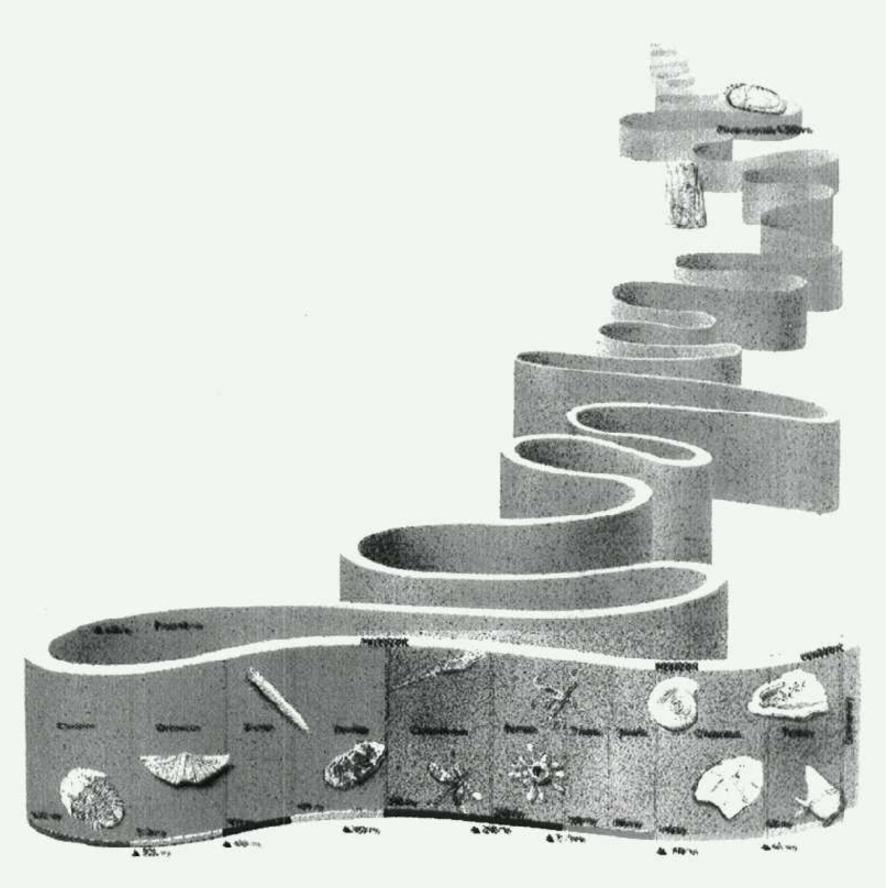
القسم الثالث

أزمنة الأرض وتعاقب الحياة

الفصل الخامس عشر

ملامح الأزمنة الأرضية

- زمان الحياة الخفية
- حُقْب الحياة القديمة
- حُقْب الحياة المتوسطة
- حُقْب الحياة الحديثة



(From Busbey III, A. B., *et al*., 1996, PP. 22-23, Time Life Books).

زمان الحياة الخفية
(The Cryptozoic)

يطلق على زمني الأركي وطلائع الأحيـــاء زمـــان الحيـــاة الخفيـــة (Cryptozoic Eon) ويضـــــــاف إليهما قسم ثـــــــالث لا يوجد له سجل أرضي ويعرف فقط من صخـــور المذنبات والقمر وهو الزمان الغابر (Hadean) أو زمـــان مـــاقبل التـــاريخ الأرضـــي (Pre-Geologic History). وحينئذٍ تسمى الفترة الزمنية السابقة لبداية العصر الكمبري بزمان مـــاقبل الكمبري (Precambrian Eon) . وعلى الرغم من طول دوام زمان ماقبل الكمبري حيث يمثـــل ٨٧ر٥% من الزمن الأرضي إلا أنه لم تتضح بدقة بعد معالمه مقارنة بأزمنة زمان الحيـــاة الظاهرة (Phanerozoic Eon) التي تبدأ بحقب الحياة القديمة وأول عصوره العصر الكمـــبري، ويرجع ذلك إلى افتقار صخور أزمنة ما قبل الكمبري لبقايا الحياة بصفة عامة وإلى ندرتـــها إن وجدت مما يجعل مضاهاة وتقدير أعمار الصخور النسبية من أصعـــب المشـــاكل الأرضيـــة. علاوة على ذلك فصخورها القديمة قد أصابها التشوه، والتحول الشديد نظراً لحـــدوث ثـــورات أرضية أثناء زمن ماقبل الكمبري.

طبيعة صخور حقب ماقبل الكمبري: لاتوجد قارة تخلو من صخـــور مـــاقبل الكمـــبري ، وتسمى المناطق الثابتة القارية البارزة المتكشفة على السطح بالدروع (Shields) مثل الـــدرع العربي والدرع الأفريقي والدرع الكندي ، بينما تسمى المناطق المغطاة برواسب قليلة السُـــمك بالراسخات أو الْمِجَن (Cratons).

أحافير ماقبل الكمبري : لم تظهر الحيوانات عديدة الخلايا إلا في أواخـــر زمـــن طلائـــع الأحياء. وتمثل السيانوبكتريا أو عرف باسم الطحالب الزرقاء الخضراء أقدم كائنـــات الأرض وقد كونت بنْيات رسوبية طحلبية تعرف بالأستروماتوليت (Stromatolites) وحديثاً ظـــهرت ثلاث اكتشافات هامة للحياة في صخور ماقبل الكمبري وهي:

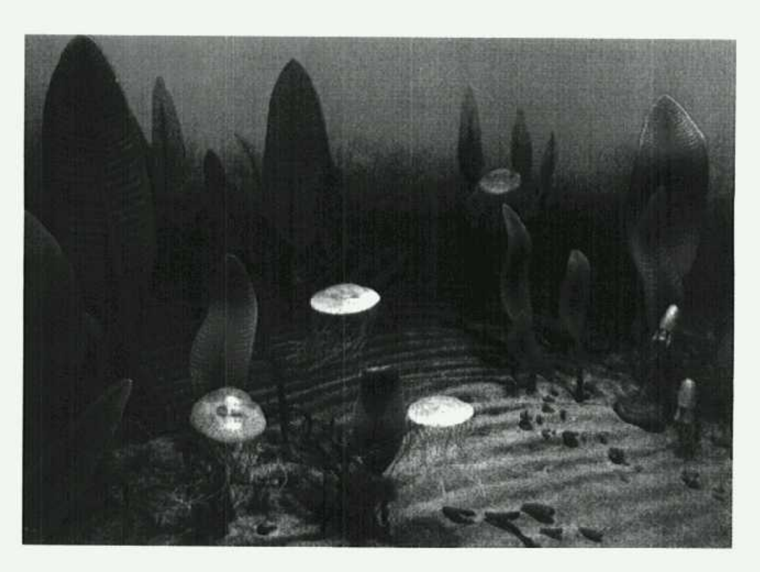
١- أحافير فج تري (Fig Tree) في جنوب أفريقيا ويُقّدر عمرها بحوالي ٣٫٠٠٠ مليون سنة.

٢- أحافير جنفلنت (Gun Flint) في كندا ويُقّدر عمرها بحوالي ٢٫٠٠٠ مليون سنة.

٣- أحافير بترسبرنجز (Bitter Springs) في أستراليا ويقارب عمرها ٩٠٠ مليـــون ســـنة، وقد اكتشفت بها أحافير الكائنات الخلوية ذات النواة (Eukaryota).

الإدياكاري (Ediacarian) : يمثل عصر الإدياكاري مرحلة انتقالية بيـــن زمـــان الحيـــاة الخفية وزمان الحياة الظاهرة، ولذا فإنه يمثل أهم الحدود الطباقية ، والإدياكاري يملأ الفـــترة

الزمنية الممثلة بعدم توافق بين الكمبري وماقبل الكمبري والتي سميت بواسطة العالم والكوت (Walcott) بفترة الليبالي (Lipalian Interval) ، وتسمى أحافير تلك الفترة بأحافير الإدياكارا (Ediacara Fauna) (شكل ١١١) وتتكون من [اللاحشويات أو اللاسعات (Cnidaria) (الجوفمعويات، وشبيهاتها ٦٧%) وديدان حلقية (Annelida) (٢٥%) ومفصليات (Arthropoda) (٥%)]، وهي تفتقر وجود هيكل صلب، وانقرضت قبل العصر الكمبري، وعلاقتها غير واضحة بأحافير الكمبري، وقد وصفت في جبال الإدياكارا (Ediacarian Hills) في جنوب أستراليا في صخور أعمارها تتروح بين ٦٧٠-٥٧٠ مليون سنة ، كما أنها وصفت في أماكن كثيرة من العالم. ومن المتوقع أن يضاف عصر يسمى عصر الإدياكاري (Ediacarian Period) في السُلَم الزمني ، وإن كان وضعه الطباقي مازال مثار خلاف بين المتخصصين حول كونه متمماً لطلائع الأحياء أم جزءاً من الكمبري.



شكل (١١١) ديوراما الحياة البحرية لكائنات الإدياكارا.

(U. S. Natural History Museum, Smithsonian Institution).

الأحوال الجغرافية (Geographic) والحوادث الأرضية (Geologic Events) في أحقاب ما قبل الكمبري :

بعد أن تصلبت قشرة الأرض إلتفت في نطاق سميك من جو حار كثيف ومحمل ببخار الماء خالٍ تقريباً من غاز الأكسجين ، وما أن برد سطح الأرض إلى الدرجة التي تسمح بتكاثف بخار الماء حتى سادت عصور طويلة من الأمطار الغزيرة المستمرة التي كونت

الأنهار والبحار. وبدأت مياه الأمطار والأنهار تنحت صخور القشرة الصلبة وتحولها إلى حطام وفتات حملت إلى قيعان البحار والمحيطات التي كانت مياهها عذبة في بداية الأمر ثم ازدادت درجة ملوحتها تدريجياً ، وبهذا الشكل تكونت أول وأقدم **الصخور الرسوبية على سطح الأرض.**

ويمكننا تصور سطحاً قاحلاً خاوياً من كل أثر للحياة أو كانت به بعض أنواع الحياة البدائية التي لم تترك آثاراً تذكر. وكان السطح يتكون من جبالٍ شاهقة وصحارٍ واسعة تنتشر بها البراكين وحقول واسعة من الحمم الساخنة التي يتصاعد من سطحها البخار. وقد سجل علماء الأرض في صخور ماقبل الكمبري شواهد مالا يقل عن تسع فترات من الثورات الأرضية أدت إلى نشأة سلاسل عالية من الجبال التي ظهرت تدريجياً خلال كل فترة ، وقد تخلل تلك الفترات عصور أطول منها كانت تتآكل فيها الجبال القديمة حتى تزول ثم تخلفها جبال أخرى وهكذا ويلخص (جدول ٣١) أهم الأحداث التي وقعت في عالم الحياة الخفية.

وصخور ماقبل الكمبري الرسوبية القديمة غير مؤكسدة إذا ما قورنت بصخور الأحقاب اللاحقة مما يشير إلى أن جو الأرض في تلك الأحقاب كان خالياً من الأكسجين أو فقيراً جداً فيه مما يرجع إلى النشاط الحيوي للنباتات الخضراء.

ويمتاز الحقب السحيق إلى جانب الحركات الأرضية الكبرى البانية للقارات بسيادة عهدين من عهود الجليد الكبرى في تاريخ الأرض شملا أجزاءً كبيرة من العالم في ذلك الوقت وقد حدث ذلك في فترتين متباعدتين. ويمكن التعرف على المستويات التي تحدد عصور الجليد في صخور الحقب السحيق من وجود أنواع من الرواسب التي تتكون في البيئات الجليدية من طبقات الرصيص المغطاة بالطين الجلمودي (Glacial Clay Boulders) المليئة بالحزوز والخدوش التي تحدثها المجالد والمثالج. وتمثل الرواسب الجليدية في ماقبل الكمبري فترات قصيرة نسبياً من الزمن الأرضي الطويل الذي يمثله ذلك الحقب.

و فترات الجليد القصيرة هذه لاتتعارض مع الإعتقاد بأنَّ المناخ في معظم الزمان السحيق كان دافئاً عموماً ويستدل على ذلك بوجود طبقات سميكة من كل من الحجر الجيري والجرافيت بين رواسب ماقبل الكمبري. مما يمكن أن يتخذ دليلاً على المناخ الدافيء وإلى وجود بعض أنواع الحياة البدائية بكثرة.

والنقطة الأخيرة تضعنا وجهاً لوجه أمام واحدة من أعتى المشاكل الأرضية التي لم يجد العلماء لها حلاً حاسماً حتى الآن وهي أصل الحياة في الحقب السحيق؟

ونحن إزاء هذه الأدلة : لوجود الحياة في عصور ماقبل الكمبري علينا أن نجد تفسيراً للغز ظهور أنواع كثيرة من الأحافير فجأة مع بداية الزمن الكمبري.

جدول (٣١) : الأحداث التطورية الكبرى في مطلع تاريخ الأرض.

(From Cooper *et al.*, 1993, P. 232, Table 8.3).

العمر (ملايين السنين)	الدليل	الحَدَث	زمان
٢٠٠٠	٧- بداية التطور الكبير في الطبقات الحمراء	٧- أكسجين بكميات معقولة في الغلاف الجوي	طلائع الأحياء
٢٢٠٠	٦- تطور كبير في تكوينات الحديد الطباقي (B.I.F.)	٧ ٦	
٢٤٠٠	وانتشار وتنوع الاستروماتوليت.	٦- تطور كبير بعملية التمثيل الضوئي؛ الهوائي وتطور سريع للطحالب والبكتريا.	
٢٦٠٠		٥	الأركي
٢٨٠٠		٥- بداية التمثيل الضوئي في وجود الهواء. تطور مبكر للطحالب والبكتريا.	
٣٠٠٠	٥- أقدم ستروماتوليت مُعَرَّفة (Stromatolite).	٤	
٣٢٠٠	٤- جود أقدم شواهد على الحياة الأرضية، تنوع متوسط للكائنات	٤- تنوع البكتريا اللاهوائية، بداية عملية التمثيل الضوئي اللاهوائي،	
٣٤٠٠	وحيدة الخلية في استراليا ومجموعة فج تري (Fig	ظهور كائنات وحيدة الخلية عديمة النواة (البروكاريوتا).	
٣٦٠٠	Tree) في جنوب أفريقيا.		
٣٨٠٠	٣- تسجيل أقدم عمر لصخور الأرض (حوالي ٣٨٠٠ م. سنة)،	٢	الغابر (ما قبل التاريخ الأرضي)
٤٠٠٠	وجود أدلة شاهدة على عمليات التحول وتكوين الرسوبيات	٣	
٤٢٠٠	والصخور النارية الجوفية.	٣- تكون الأغلفة البدائية، الصخري، المائي والحيوي.	
٤٤٠٠	٢- تكون الفوهات والصخور على سطح القمر.	٢- البراكين الثائرة وارتطام الأجسام الكونية. ١	
٤٦٠٠	١- عصر الشهب والنيازك.	١- خلق الأرض.	

حقب الحياة القديمة

(The Paleozoic Era)

يمثل حقب الحياة القديمة الجزء الأول من زمان الحياة الظاهرة ، ويمتد من بداية العصر الكمبري (منذ قرابة ٥٧٠ مليون سنة مضت) إلى نهاية العصر البرمي (منذ حوالي ٢٤٥ مليون سنة). وقد استهل الحقب بدايته بالظهور الرائع للكائنات ذات الأصداف واختتم بهلاك جماعي (Mass Extinction) يمثل أحد أكبر نكسات في تاريخ حياة زمان الحياة الظاهرة ، وقد عرفت هذه الظاهرة بنكسة حياة نهاية البرمي.

وينقسم حقب الحياة القديمة إلى قسمين ، الأول منهما هو القسم الباكر من حقب الحياة القديمة (Early Paleozoic) الذي يضم عصور الكمبري والأوردوفيشي والسيلوري (مرتبة من الأقدم إلى الأحدث). أما القسم الثاني فهو القسم المتأخر من حقب الحياة القديمة (Late Paleozoic) ويضم عصور الديفوني والكربوني والبرمي. (وجدير بالذكر أن الأمريكان يقسمون العصر الكربوني إلى عصرين وهما المسيسيبي والبنسلفاني وذلك في أمريكا الشمالية فقط. وبناءً عليه فإنّ حقب الحياة القديمة يضم إما ستة عصور وإما سبعة عصور. وقد سمى العصر الكمبري (Cambrian) بهذا الإسم نسبة إلى مكان تواجد قطاعه النوعي أوْ طرازه في مقاطعة ويلز والتي اسمها كامبريا (Cambria) باللغة اللاتينية ، بينما سمي العصر الأوردوفيشي (Ordovician) والعصر السيلوري (Silurian) على شرف قبيلتي أوردوفيشي (Ordovice) وسيلوري (Silures) وهما من قبائل ويلز كانتا تسكنان في مناطق صخور النظامين. وكذلك الحال بالنسبة للعصر الديفوني (Devonian) الذي اشتق اسمه من مقاطعة ديفونشير (Devonshire) ، وقد اشتق العصر الكربوني (Carboniferous) اسمه من وجود رواسب الفحم الاقتصادية. ولعل العصر الوحيد الذي لايوجد قطاع طرازه في أوروبا الغربية هو العصر البرمي (Permian) الذي اشتق اسمه من منطقة برم (Perm) بالقرب من جبال الأورال والتي تقع على بعد ٢٠٠ كيلومتر من موسكو.

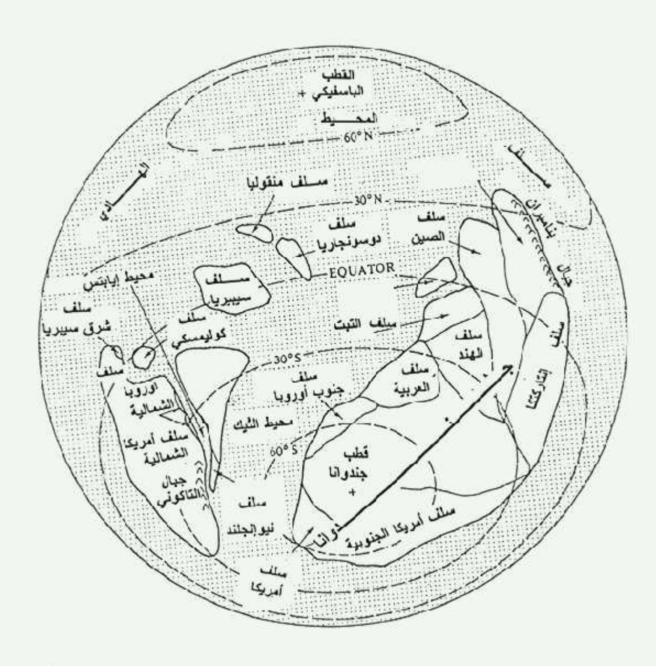
والجدير بالذكر أنّ كل عصر يُقَسَّم بصفة عامة إلى قسمين ، المبكر (Early) والمتأخر (Late) وقد يضاف إليهما جزء متوسط (Middle). وتُقَسَّم أيضاً صخور العصر إلى جزء سفلي (Lower) وجزء أوسط (Middle) وجزء علوي (Upper).

القسم الباكر من حقب الحياة القديمة (Early Paleozoic)

يتميز هذا القسم من حقب الحياة القديمة بظاهرتين أساسيتين ، الأولى منهما هي : بـــروز كتلة جندوانا (Gondwana). والثانية هي ســـيادة اللافقاريـــات البحريـــة (Age of Marine Invertebrate).

جندوانا : في أثناء حقب الحياة القديمة المبكر برزت كتلة يابسة كبيرة كانت تضم أصـــول قارات أفريقيا وأمريكا الجنوبية ومناطق تمثل الآن المنطقة العربية واستراليا والهند والصيـــن ومدغشقر وأجزاء من جنوب أوروبا وجنوب الولايات المتحدة الأمريكية.

وقد وجد في أثناء حقب الحياة القديمة المبكر محيط كبير ســـمي محيـــط ثيـــك (Theic Ocean) كان يفصل جندوانا عما عداها من قطع الأرض. بالإضافة إلى محيط صغـــير كـــان يمثل جد المحيط الأطلسي الحالي ، إلا أنه قد أغلق مؤخراً في أثناء القسم المبكر مـــن حقـــب الحياة القديمة المبكر وكان يسمى محيط أيابتس (Iapetus Ocean) **(شكل ١١٢).**



شكل (١١٢) أرض جندوانا. القارة العملاقة التي كانت تضم قارات العالم الجنوبية في أثناء القسم المبكر من حقب الحياة القديمة.

(From Mintz, 1981).

الحياة في القسم المبكر من حقب الحياة القديمة : يسمى القسم المبكر من حقب الحياة القديمة (Early Paleozoic) بأنه عصر سيادة اللافقاريات البحرية مع العلم بأن اللافقريات قد ظهرت من قبل ، إلا أنها في الازدهار مع إشعاعة حياة عصر الكمبري. واستناداً على ملامح الحياة يسمى عصر الكمبري عصر سيادة ثلاثيات الفصوص (Age of Trilobites) ، ويسمى عصر الأوردوفيشي عصر سيادة الخطيات (Age of Graptolites) علاوة على أنه العصر الذي سجل أول ظهور الأسماك بصورة مؤكدة. أما العصر السيلوري فقد سجل أول ظهور النباتات البرية وشهد نمو الشعاب المرجانية.

ويمكن تتبع خمس مجموعات من أحافير القسم المبكر من حقب الحياة القديمة المبكر وهي:

١ – المرجان الصفائحي (Tabulata)

٢ – ثلاثيات الفصوص (Trilobita)

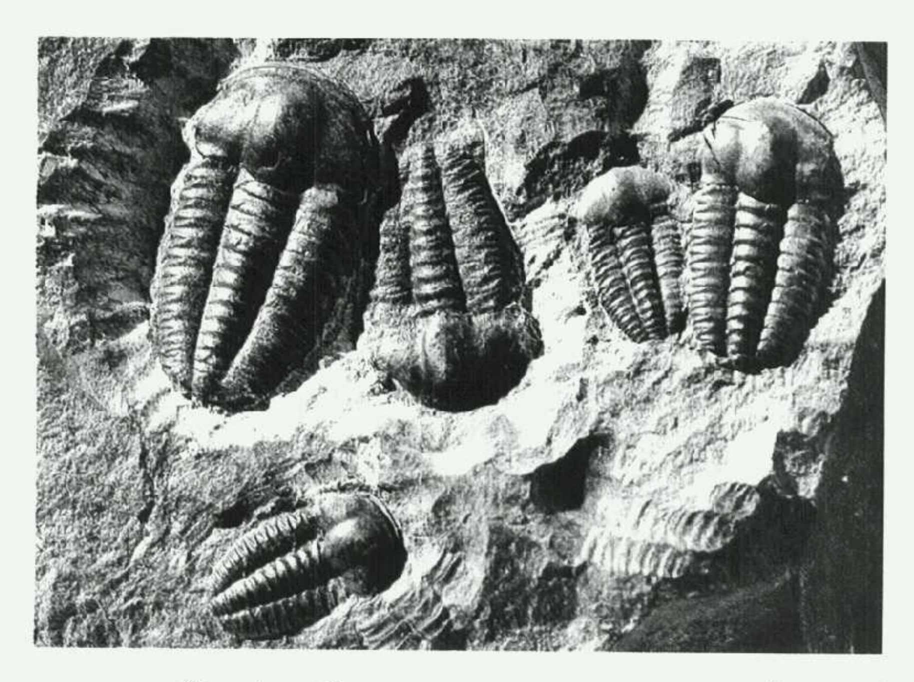
٣ – الخطيات (Graptolithina)

٤ – الحزازيات (Bryozoa)

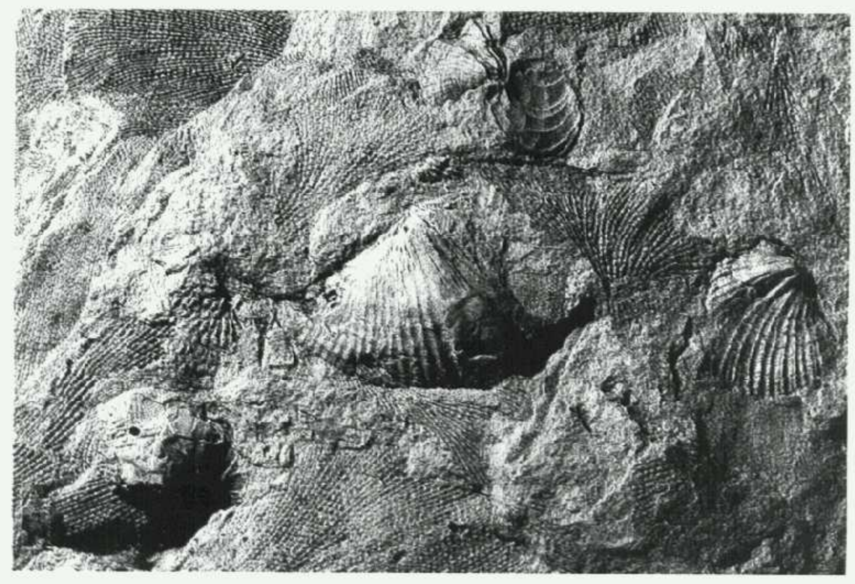
٥ – المسرجيات (Brachiopoda)

وتمثل المجموعات الثلاث الأولى كائنات بائدة (Extinct) عاشت وماتت خلال حقب الحياة القديمة ، ويعتقد أنّ ثلاثيات الفصوص قد ظهرت في الجزء المتأخر من زمان طلائع الأحياء.

وتمثل ثلاثيات الفصوص أهم كائنات الكمبري (شكل ١١٣) وقد استخدمت بنجاح في تقسيم صخور الكمبري إلى سفلي وأوسط وعلوي. ويأتي بعدها المسرجيات "عضديات الأرجل" (Brachiopoda) وقد شكلت ٣٠% من أحياء الكمبري (شكل ١١٤). ومن الأحافير الهامة جداً في طباقية الكمبري شبيهات الإسفنج أو الأركيوسياثيدز (Archacohyathids) التي عاشت وماتت في أثناء العصر الكمبري وهي تشبه في تكوينها مخروط بداخله مخروط آخر تربطهما عوارض (شكل ١١٥). وقد كونت مع الأسفنج شعاباً كانت بمثابة حواجز كِلْسية.

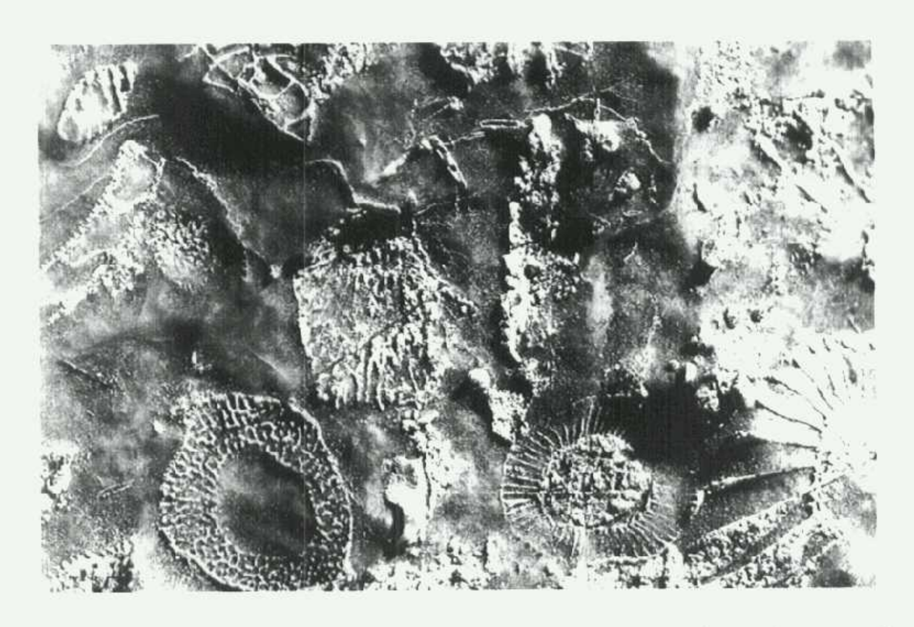


شكل (١١٣) أحافير ثلاثيات الفصوص من جنس ***Ellipsocephalus*** من العصر الكمبري.
(From Busbey III *et al.*, 1996).

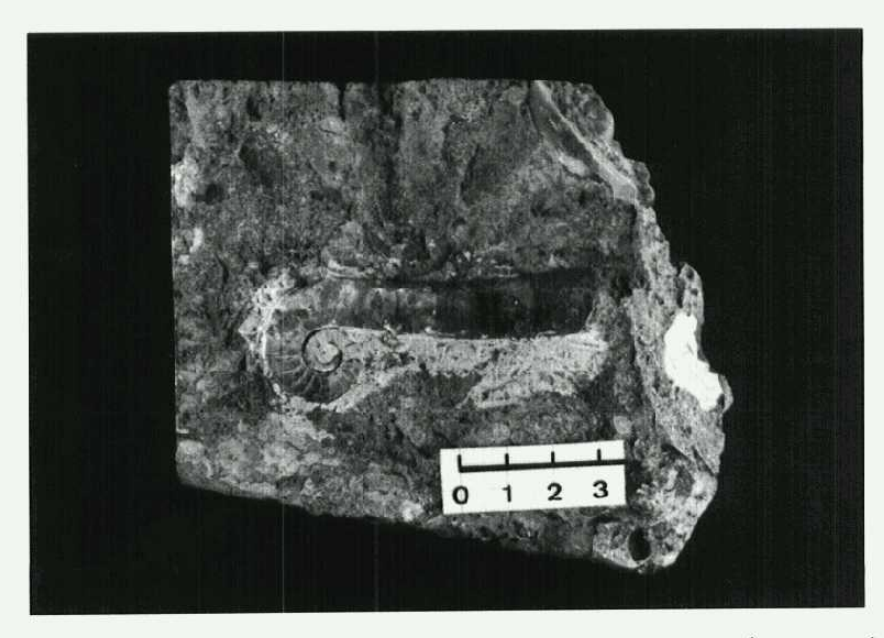


شكل (١١٤) صُحبة من المسرجيات والحزازيات في صخور القسم الباكر من حقب الحياة القديمة.

(From Busbey III *et al.*, 1996).



شكل (١١٥) أحافير الأركيوسياسيدز التي ظهرت وانقرضت أثناء عصر الكمبري.
(From Busbey III *et al.*, 1996).

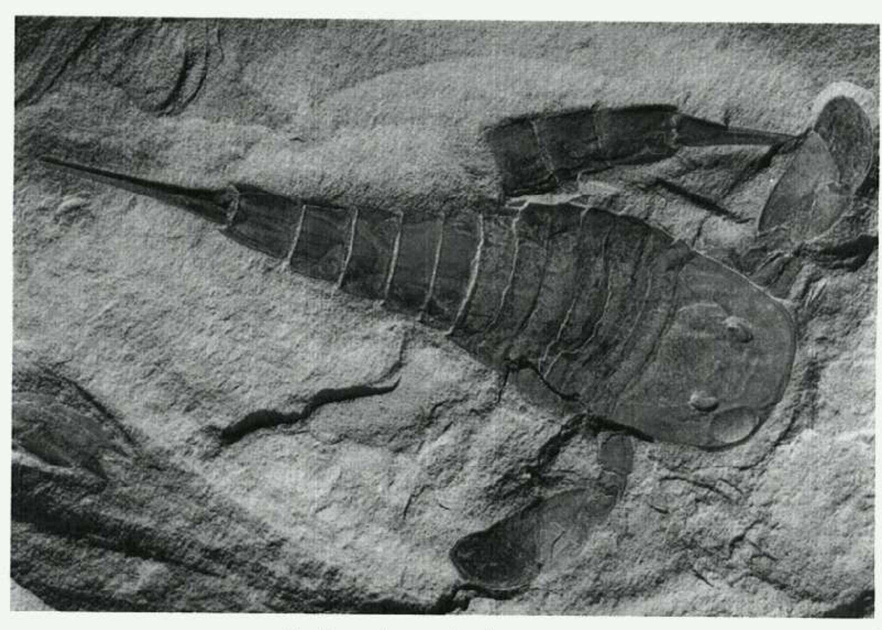


شكل (١١٦) رأسقدمي من النوتيليدات ، جنس *Lituites* ، لعصر الأوردوفيشي. (من عينات المتحف الجيولوجي بجامعة قطر).

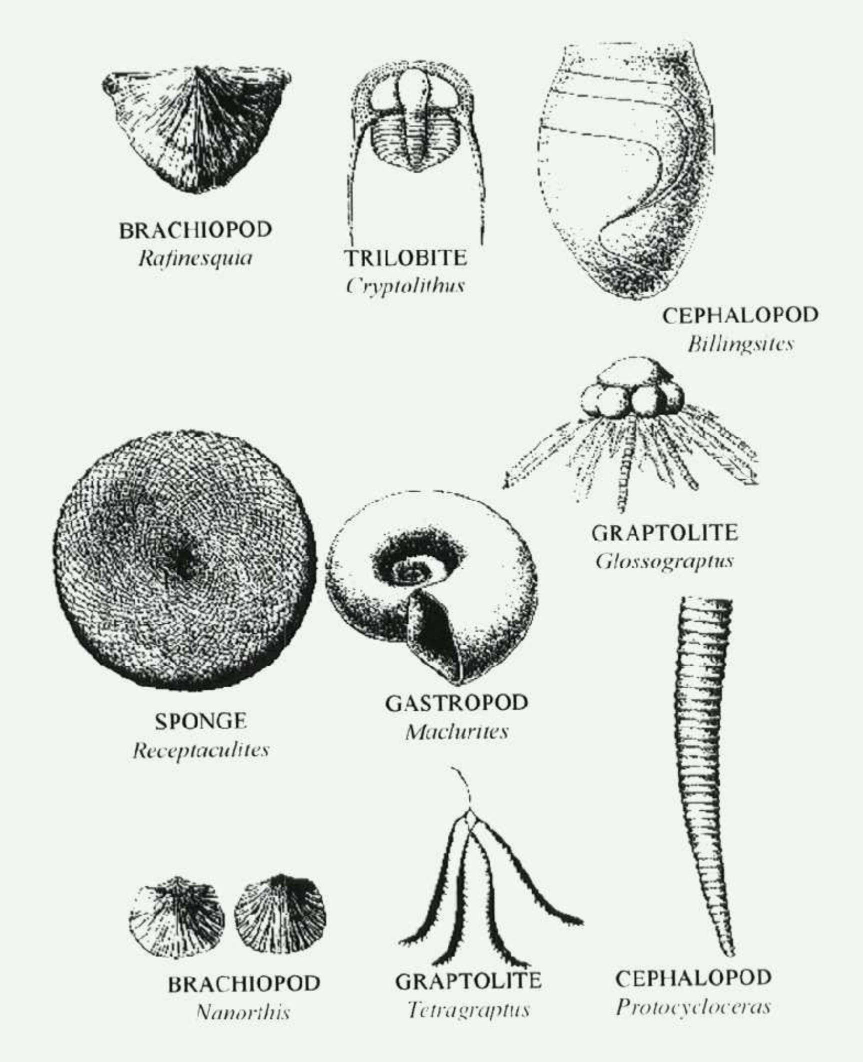
وعند الحديث عن عصر الكمبري لأبد من الإشـــــارة إلـــى كائنــات طَفْلــة بورجــس (Burgess Shale Fauna) التي تمثل أروع مكتشفات الأحافير في القرن العشرين ، وقــد عــثر عليها كارل والكوت عام ١٩١٠م حيث عثر على أحافير محفوظة على هيئة أقلام رقيقة فـــي الطَّفْلة السوداء المنكشفة عند حافة جبل وابتا في جبال الروكي الكندية ، وهذه الكائنــات ليــس لها مثيل من حيث درجة حِفْظِها التي بلغ من روعتها أن طبعات من أجزاء الحيوان الرخوة قـد حُفِظَت. والجدير بالذكر أن أحافير طفلة بورجز تفوق تنوعها التشريحي كل الكائنـــات التـــي تعيش في البحار اليوم.

ويطلق على **العصر الأوردوفيشي** عصر سيادة الخطيـات (Age of Graptolites) ، وقــد استخدمت الخطيات بنجاح في مضاهاة صخور نظـــام الأوردوفيشـــي. وســـجل أول ظـــهور الأسماك ملمحاً رئيساً لحياة العصر ، واحتلت الرأسقدميات (شكل ١١٦) وثلاثيات الفصـــوص صدارة مجموعات الأحافير الأخرى (شكل ١١٨). وظهرت أصداف الأســـتراكودا (Ostracoda) لأول مرة في أثناء الأوردوفيشي ، ولاتوجد أدلة لظهور نباتات برية في هذا العصر.

وتمثل أحافير النباتات الأرضية والعقارب البحرية (شكل ١١٧) أهم ملامح عصر السيلوري . وقد بلغ المرجان الصفـــــائحي (شكل ١١٩) قمة إزدهاره وكان من أنشط بَانيات الشِّعاب ، وبلغــت زنابق البحر (Crinoids) والقنافذ البحرية (Echinoids) أقصى إزدهار لهما. وبدأت كل من الخطيـات وثلاثيات الفصوص في الإنسحاب من مسرح الحياة وأضملحت إضمحلالاً كبيراً.

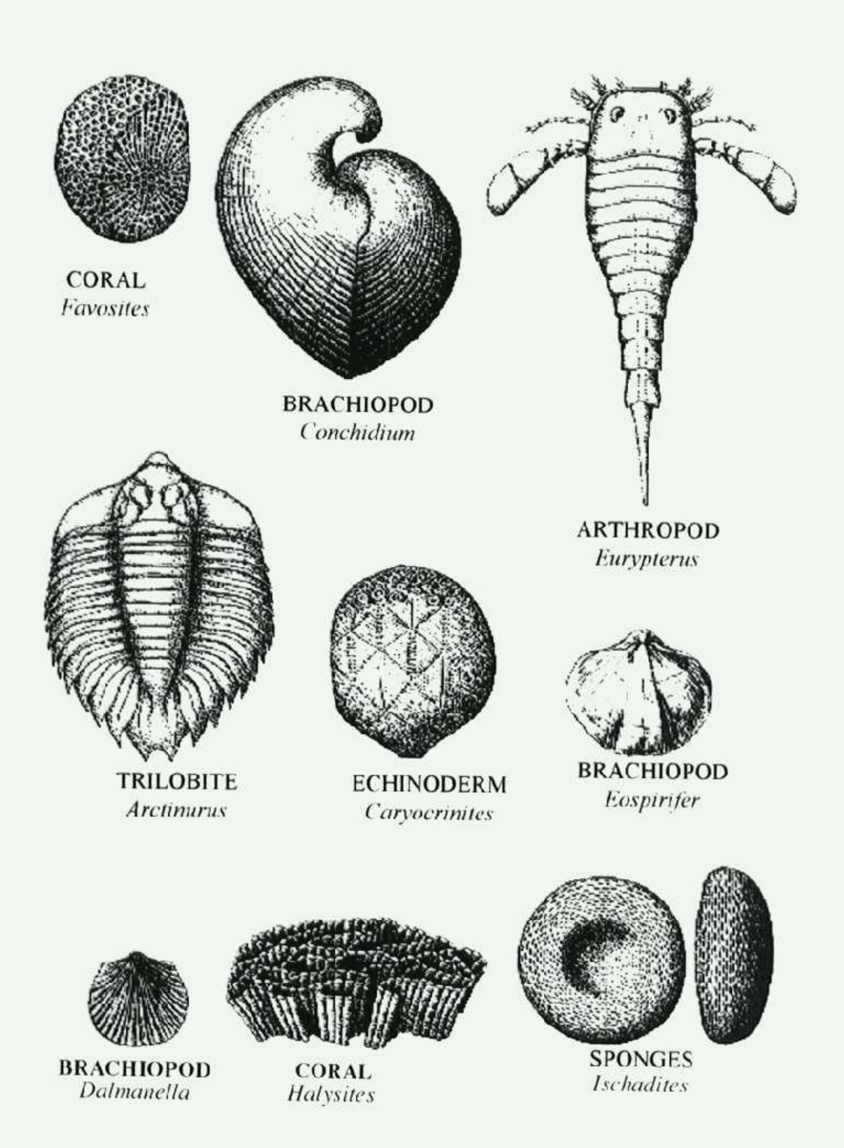


شكل (١١٧) عقرب بحري منقرض يتبع شعبة المفصليات ، العصر السيلوري.
(From Busbey III, *et al.*, 1996).



شكل (١١٨) أحافير الأردوفيشي المرشدة.

(From Spencer, 1962, P. 227, Fig. 13.5).



شكل (١١٩) بعض الأحافير المرشدة في العصر السيلوري.

(From Spencer, 1962, P. 247, Fig. 14.9).

القسم المتأخر من حقب الحياة القديمة (Late Paleozoic) :

يشمل حقب الحياة القديمة المتأخر عصوراً ثلاث هي الديفوني والكربوني والبرمي. وقد تميز بعدة ظواهر أساسية تمثلت في نمو أشجار الغابات وظهور البرمائيات العملاقة وسيادة الأسماك وظهور الزواحف وانتشار الغطاء الجليدي وحدوث أكبر توحد قاري لم يشهد له زمان الحياة الظاهرة مثيلاً وحدوث أكبر نكسة للحياة في نهاية العصر البرمي.

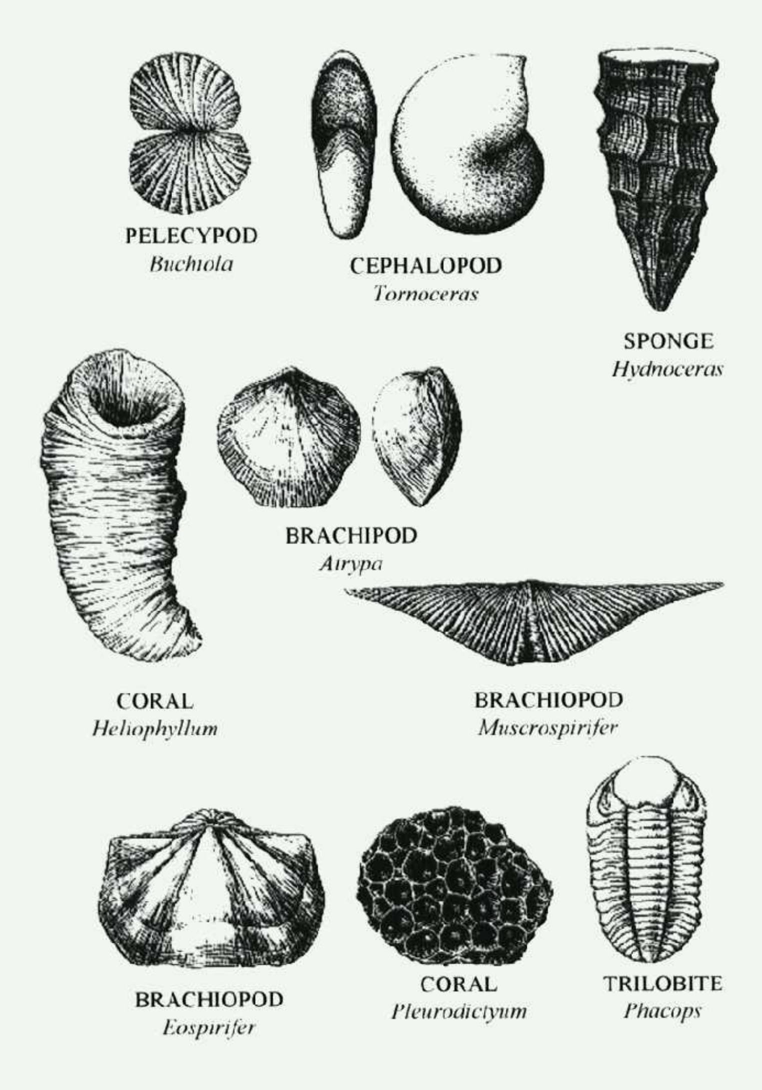
البانجيا (Pangaea) : بنهاية العصر البرمي أصبحت قارات العالم القديمة متماسكة مكونة كتلة يابسة هائلة سميت بانجيا (Pangaea) التي كانت تتكون من جندوانا في الجنوب ولوراسيا (Laurrasia) في الشمال وقد انفصلتا انفصالاً جزئياً في الجزء الشرقي نظراً لوجود خليج التيثس (Tethys) عند الحافة الشرقية البانجيا.

وقد أدى التحام الجزء الأفريقي من جندوانا مع الجزء الجنوبي الشرقي لأمريكا الشمالية إلى ظهور سلاسل جبال الأبلاش الجنوبية ، بينما أدى التحام سيبيريا وأوروبا إلى بروز جبال الأبلاش الشمالية ، بينما أدى التحام سيبيريا وأوروبا إلى بروز جبال الأورال ، كما نشأت السلاسل الجبلية في جنوب أوروبا عبر الحافة الغربية لقارة بانجيا ، وقد تركزت قارة جندوانا الجنوبية حول القطب الجليدي .

الحياة في القسم المتأخر من حقب الحياة القديمة (Late Paleozoic Life) :

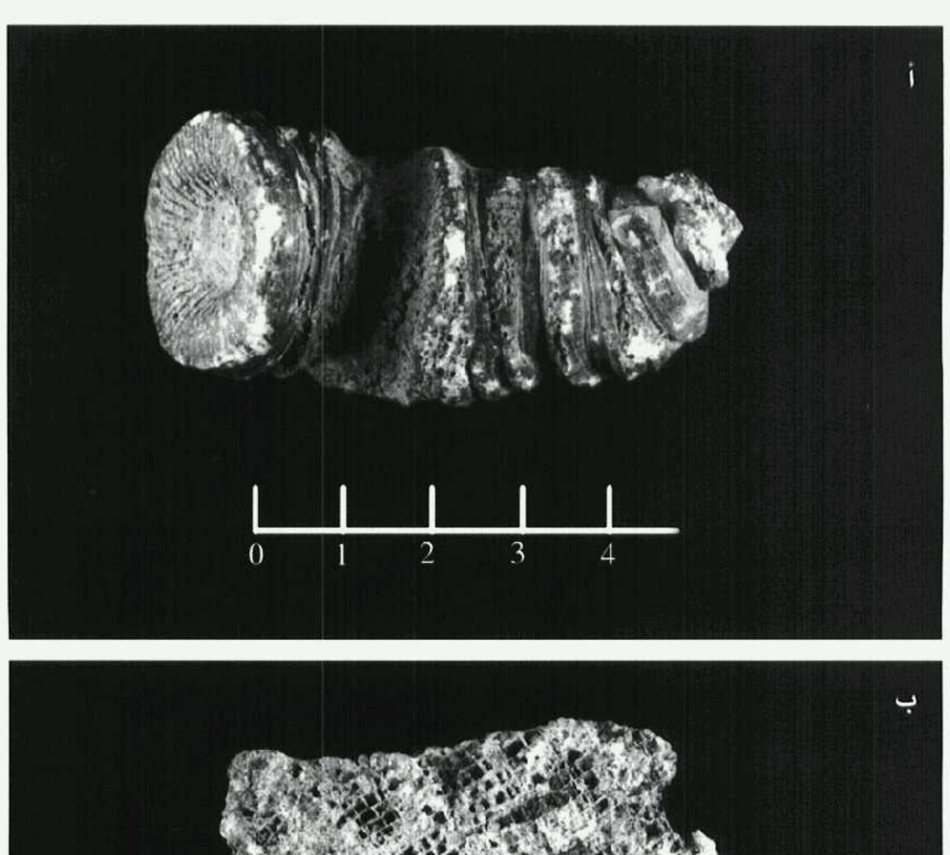
لعبت المُنْخَرِبَات (Foraminifera) ، والمرجان الرباعي (Tetracorals)، وزنابق البحر (Crinoids)، والأمونيتات (Ammonites)، والأسماك دوراً رئيساً في حياة حقب الحياة القديمة المتأخر.

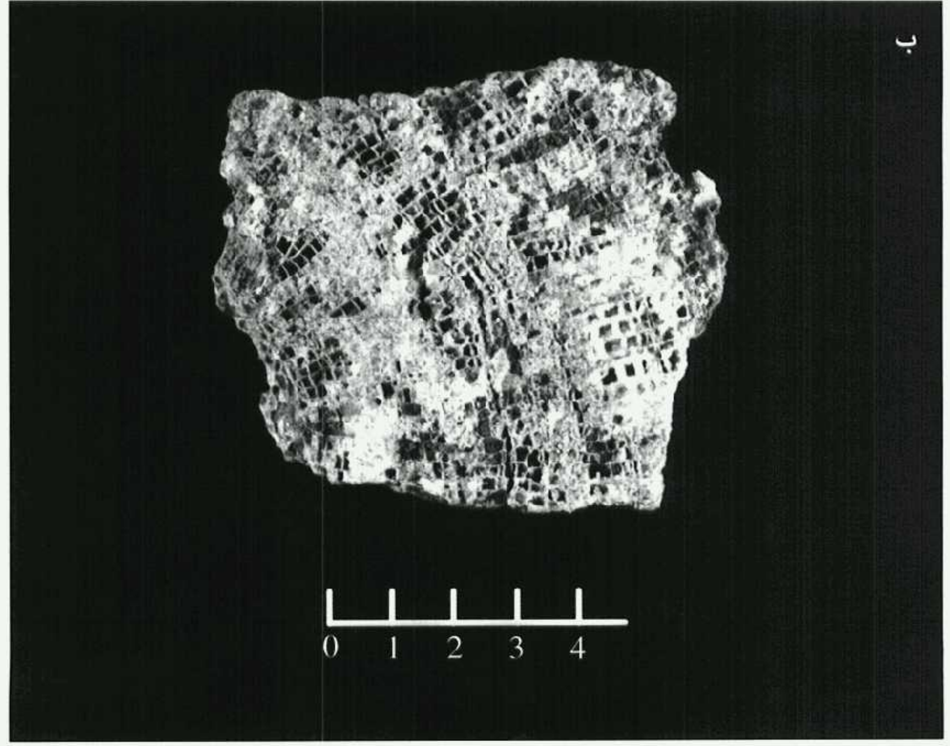
العصر الديفوني : من الأشكال الجديدة التي ظهرت لأول مرة في هذا العصر الفقاريات البرية من البرمائيات (Amphibians) ممثلة باللابرينثودونت (Labrynthodonts) والأسماك الرئوية التي تتنفس الهواء، والأمونيتات التي تتبع طائفة قدميات الرأس ذوات خطوط الدرز البسيطة (شكل ١٢٠)، وكذلك الحشرات عديمة الأجنحة، وظهرت الأشجار ذوات البذور. وقد بلغت المسرجيات (Brachiopoda) والأسماك قمة ازدهارهما، كما ازدهر المرجان (شكل ١٢١) ، وكذلك سمى الديفوني عصر سيادة الأسماك (شكل ١٢٢) ووصل طول بعضها إلى مايزيد عن قدمين، وانقرضت الأسماك المدرعة.



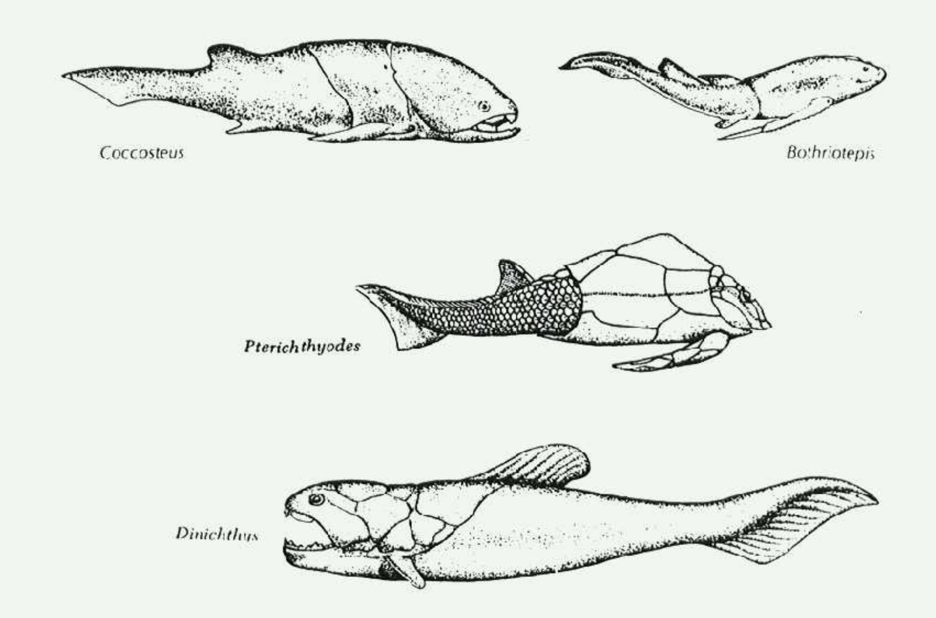
شكل (١٢٠) بعض الأحافير المرشدة من العصر الديفوني.

(From Spencer, 1962, Page 253, Fig. 15.1).





شكل (١٢١) بعض مرجان العصر الديفوني أ- هليوفيلم (*Heliophyllum* sp.) ب- فافوزيت (*Favosites* sp.)، (من عينات المتحف الجيولوجي بجامعة قطر).



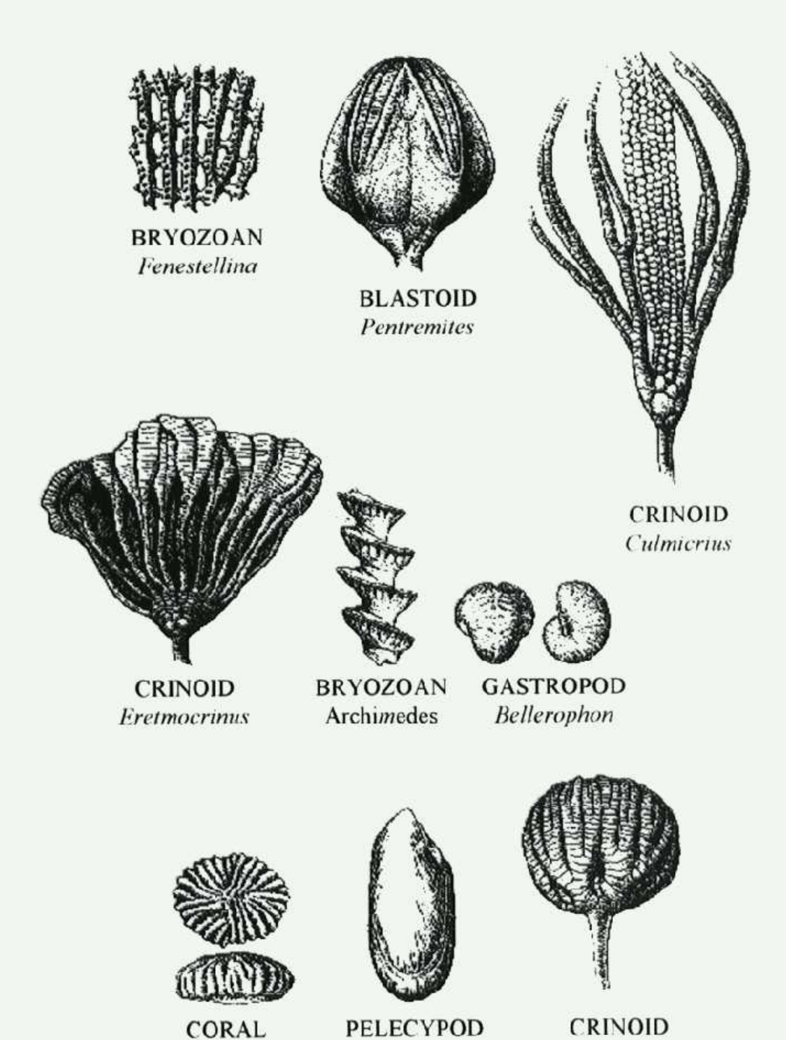
شكل (١٢٢) بعض أسماك الديفوني ذوات الفكوك.

(Collected From Mintz, 1981 and Thompson *et al.*, 1995).

العصر الكربوني : في الجزء المبكر من هذا العصر والمسمى باسم "المسيسيبي" إنتشـــرت الزواحف وأسماك القرش، وبلغت زنابق البحر (شكل ١٢٣، ١٢٤) القمة في التنوع والوفـــرة، وكذا الحال بالنسبة للْمُنْخَرِبَات من الفيوزيولينا (Fusulinids) التي تعد من الأحافير المرشـــدة، وعلي الجانب الآخر فقد سجل المرجان وثلاثيات الفصوص اضمحلالاً كبيراً.

ويطلق على **العصر البِنْسلْفاني عصر سيادة الصرصور والحشرات**. وانتشـــرت غابـــات المستنقعات ، ويحتوي العصر البنسلفاني على كثير من مجموعات الأحافير اللافقاريـــة التـــي ازدهرت في العصر "المسيسيبي" (شكل ١٢٥).

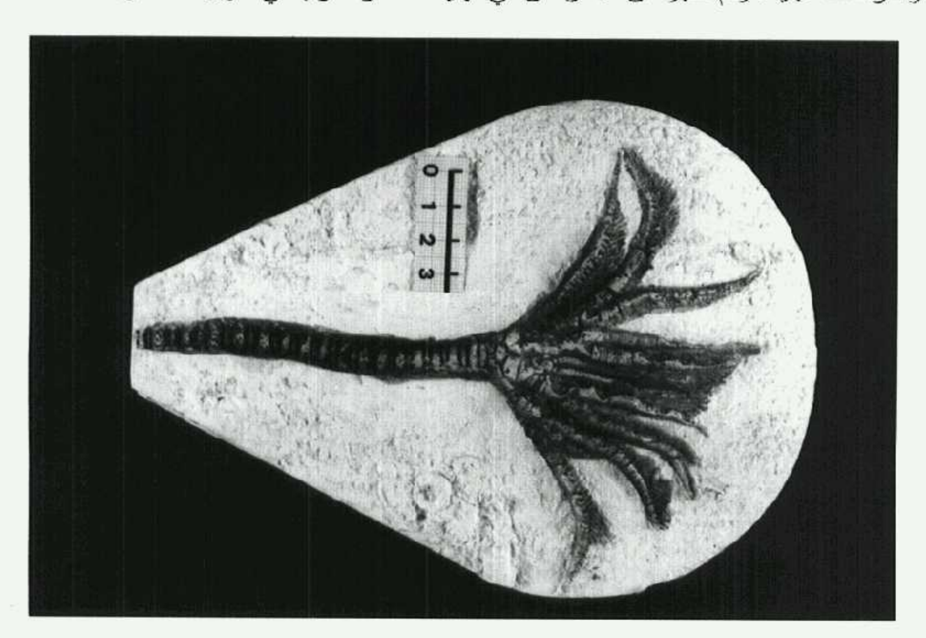
العصر البرمي : تميز عصر البرمي بأربع ظواهر فريدة شـــملت وتكويـــن قـــارة بانجيـــا العملاقة، وانقراض جماعي لم يسبق له مثيل في صور الحياة وسيادة عصـــر جليـــدي كبـــير صاحبه انخفاض كبير في مستوى البحر ارتبط بتكوين غِطاء جليد جندوانا ، بالإضافـــة إلـــى انتشار الصحاري بشكل واسع.



شكل (١٢٣) بعض الأحافير المرشدة من العصر المسيسيبي.

(From Spencer, 1962, Page 265, Fig. 16.3).

واستمرت **الفيوزيولينا** (Fusulina) تلعب دوراً هاماً في طباقية العصر البرمي (شكل ١٢٦). وعلي الرغم من تخصص الأمونيتات في هذا العصر كما يشير إلى ذلك تعقيد خطوط الدرز إلا أنها هلكت بقسوة شديدة في نهاية العصر البرمي، فمن بين ثلاثة عشرة عائلة منها كانت تعيش في هذا العصر ، إستمرت اثنتان منها فقط في التواجد في العصر الترایاسي وانقرضت البقية، ولم تنجو من الانقراض في نهاية العصر الترایاسي سوى عائلة واحدة.



شكل (١٢٤) أحد الزنابق البحرية التي كانت تعيش أثناء العصر الكربوني. (المتحف الجيولوجي بجامعة قطر).

وقد انتشرت أنواع محددة من النباتات في أثناء البرمي على مستوى العالم منها الجلوسوبتيرز (Glossopteris) الذي انتشر في جندوانا (شكل ١٢٧).

وانتشرت البرمائيات، وتخصصت الزواحف ومنها الأفياكودون (*Ophiacodon*) والديمترودون(*Dimetredon*) ذوات الزعنفة الظهرية آكل اللحوم، وإكتيوستيجا(*Ichthyostega*) (شكل ١٢٨) والهيلونومس(*Hylonomus*) (شكل ١٢٩). كما عاشت زواحف بدائية تشبه الثدييات (Mammal like Reptiles) وهي من البليكوصورس (*Pleycosaurs*).

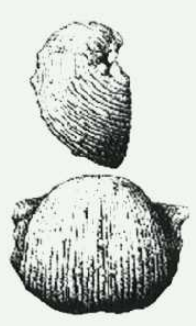
ويمثل البرمي أكبر النكسات في تاريخ الحياة وكانت نهايته بمثابة القشة التي قصمت ظهر البعير حيث لم تستطع غالبية الكائنات أنْ تَعْبُر حده العلوي حيث هلك بعضها قبل النهاية تدريجياً في أثناء الحقب وبعضها هلك بقسوة في نهاية العصر البرمي.



PELECYPOD
Acanthopecten



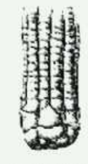
GASTROPOD
Euconospira



BRACHIOPOD
Dictyoclostus



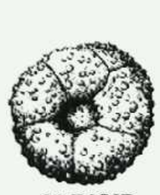
PELECYPOD
Monopteria



CRINOID
Graphiocrinus



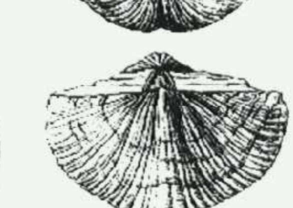
CORAL
Lophophyllidium



CRINOID
Ethelocrinus



CEPHALOPOD
Gastrioceras



BRACHIOPOD
Neospirifer

شكل (١٢٥) بعض الأحافير المرشدة في العصر البنسلفاني.

(From Spencer, 1962, Page 271, Fig. 16.11).

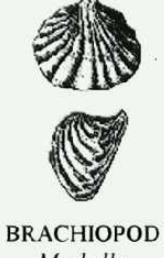




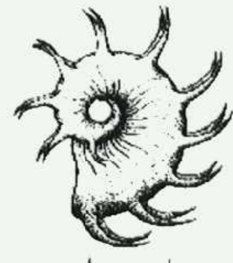










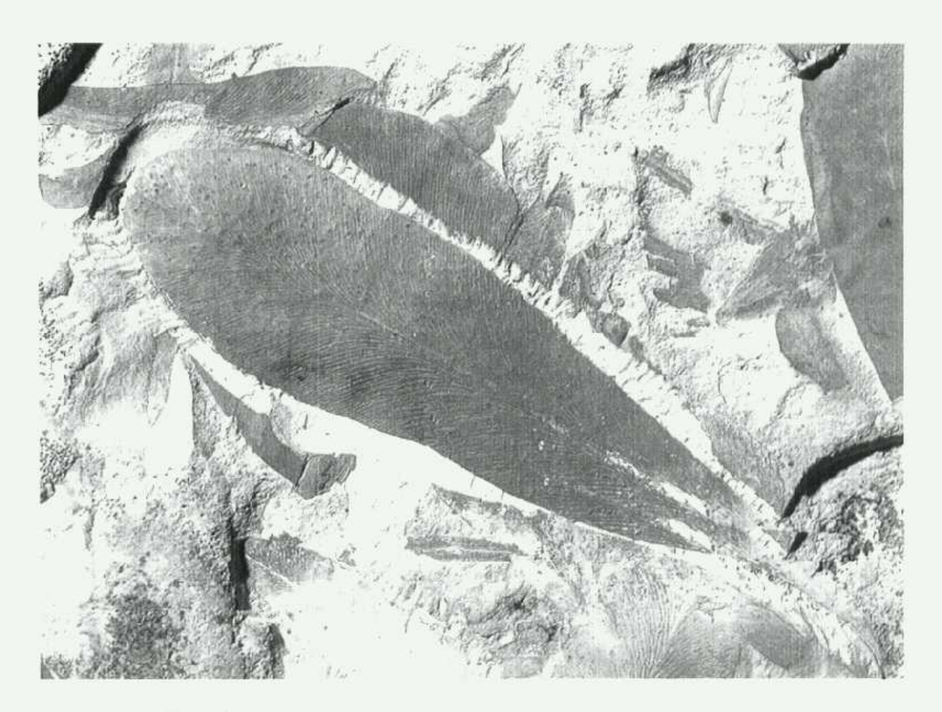






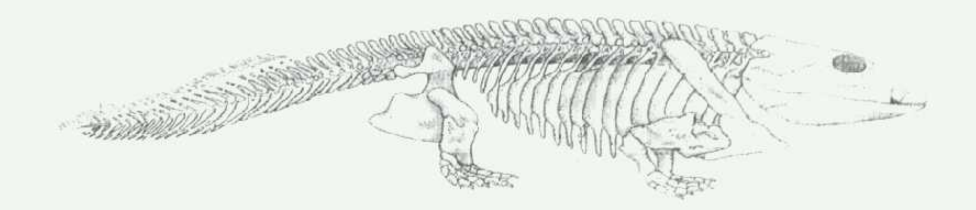
شكل (١٢٦) بعض الأحافير المرشدة في العصر البرمي.

(From Spencer, 1962, Page 307, Fig. 17.5).



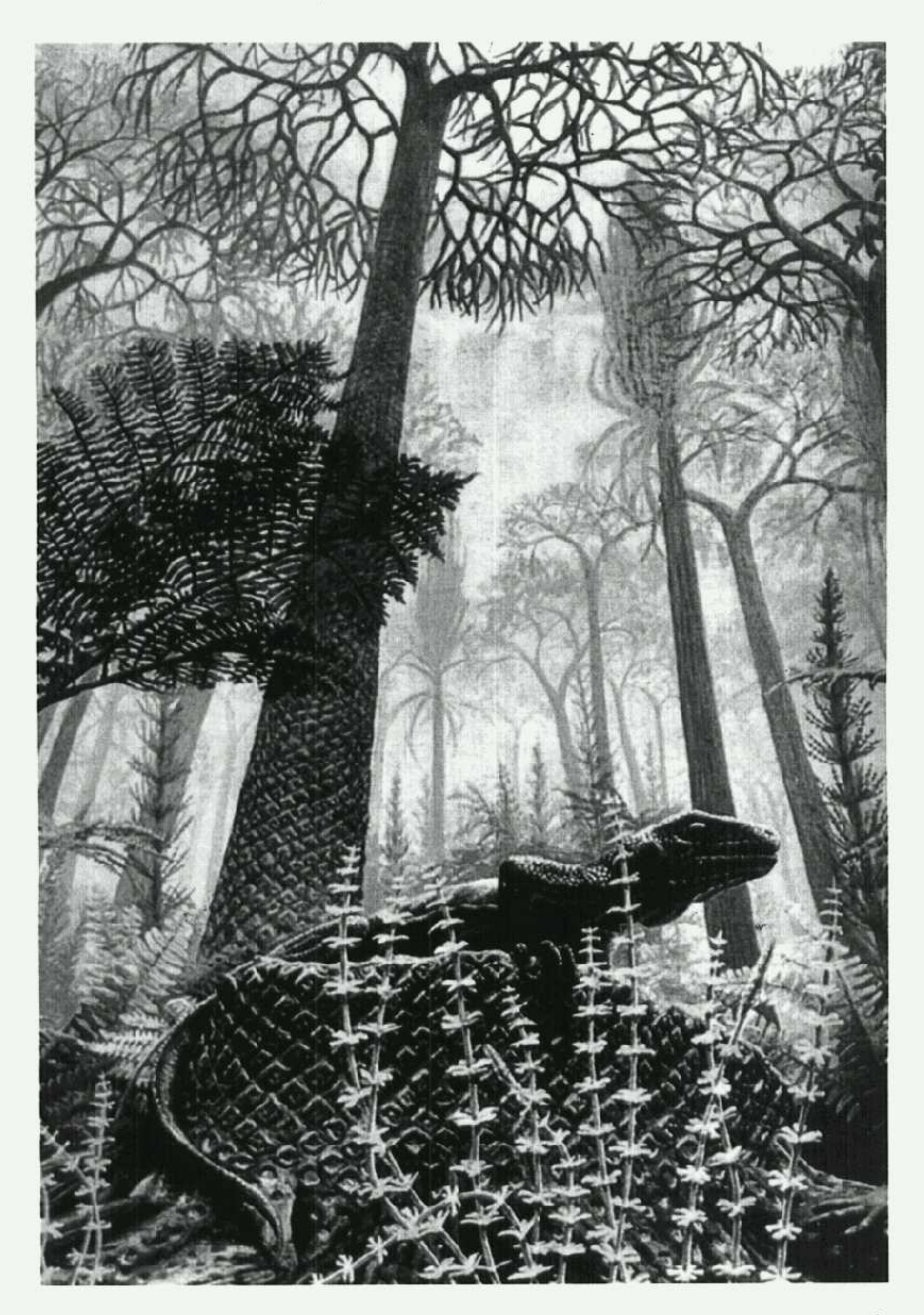
شكل (١٢٧) نبات الجلسوبتيرز (*Glossopteris*) الذي إنتشر في جندوانا إنتشاراً واسعاً خلال العصر البرمي.

(From Busbey III, *et al*;., 1996, P. 230).



شكل (١٢٨) إعادة تصور هيكل زاحف إكتيوستيجا (*Ichthyostega*).

(From Thompson *et al*., 1995).



شكل (١٢٩) إعادة تصور هيكل زاحف هيلونومس (*Hylonomus*) الذي كان يعيش في أثناء العصر البرمي.

(From Lemon, 1993, Plate 52).

حقب الحياة المتوسطة

(The Cenozoic Era)

يضم حقب الحياة المتوسطة ثلاثة عصور وهي الترياسي (Triassic) أو العصر الثلاثي الأقسام والجوري (Jurassic) والطباشيري (Cretaceous)، والحقب يمثل عصر سيادة الزواحف ، علاوة على أنه قد شهد تقطيع قارة البانجيا العملاقة التي برزت في أثناء عصري البرمي والترياسي ، وفي نهاية الحقب بدأ شكل القارات الحالية في الظهور، ومن قارة جندوانا لم يبق متحداً سوى استراليا أو القارة القطبية الجنوبية (شكل ١٣٠).

الحياة في حقب الحياة المتوسطة:

أ –الحياة البحرية في حقب الحياة المتوسطة:

اختلفت الحياة اختلافاً كبيراً عن مثيلاتها في حقب الحياة القديمة ، وقد سادت الرخويات (Mollusca) وأنواع جديدة من المرجان (شكل ١٣١) وشوكيات الجلد (Echinodermata) ، ومن بين الرخويات سادت طائفتا المحار (Pelecypoda) ، والرأسقدميات (Cephalopoda) ، ومن المحار انتشرت الاويسترز (Oysters) والإينوسيراميد (Inoceramids) وغيرهما ، ومن الرأسقدميات سادت مجموعتان حققتا انتشارا واسعاً وهما الأمونيتات (Ammonites) (شكل ١٣٢) والبلمنيئيدات (Belemnites) ، والأمونيتات لها صدفة لاَفَّة في مستوى واحد أو متغيرة الشكل (Heteromorphs) وسطحها مزخرف بِضلوع وعقد ونَصْل، وتشبه البلمنيئيدات مظروف لطلق ناري وهي ذات صدفة داخلية.

ظهرت مجموعة جديدة من المرجان المعروف بالمرجان الصلب أو المرجان السداسي (Scleractinia) كوَّنَت شعَاباً (Reefs) مع الأسفنجيات (Sponges) ذات الهيكل الجيري والسليكاتي التي سادت في بحار الفترات المتأخرة من حقب الحياة المتوسطة ذات المناخ القاري. ومن بين شوكيات الجلد سادت القنافذ (Echinoids) واستخدمت أحافير المُنْخَرِبَات بنجاح كبير في طباقية العصر الطباشيري (شكل ١٣٣).

وفي هذا الحقب عادت مجموعة من الزواحف إلى الماء وكانت سائدة في محيطات العالم بالاضافة إلى السحالي البحرية (Ichthyosaurs) والسلاحف (Turtles). ويحدد نهاية الحقب هلاك عدد كبير من الكائنات البحرية مثل الأمونيتات والبلمنيئيدات والزواحف البحرية ومجموعات من المحار والمُنْخَرِبَات العالقة وعدد آخر من الطوائف والرتب المختلفة.



أ- ٢٠٠ مليون سنة

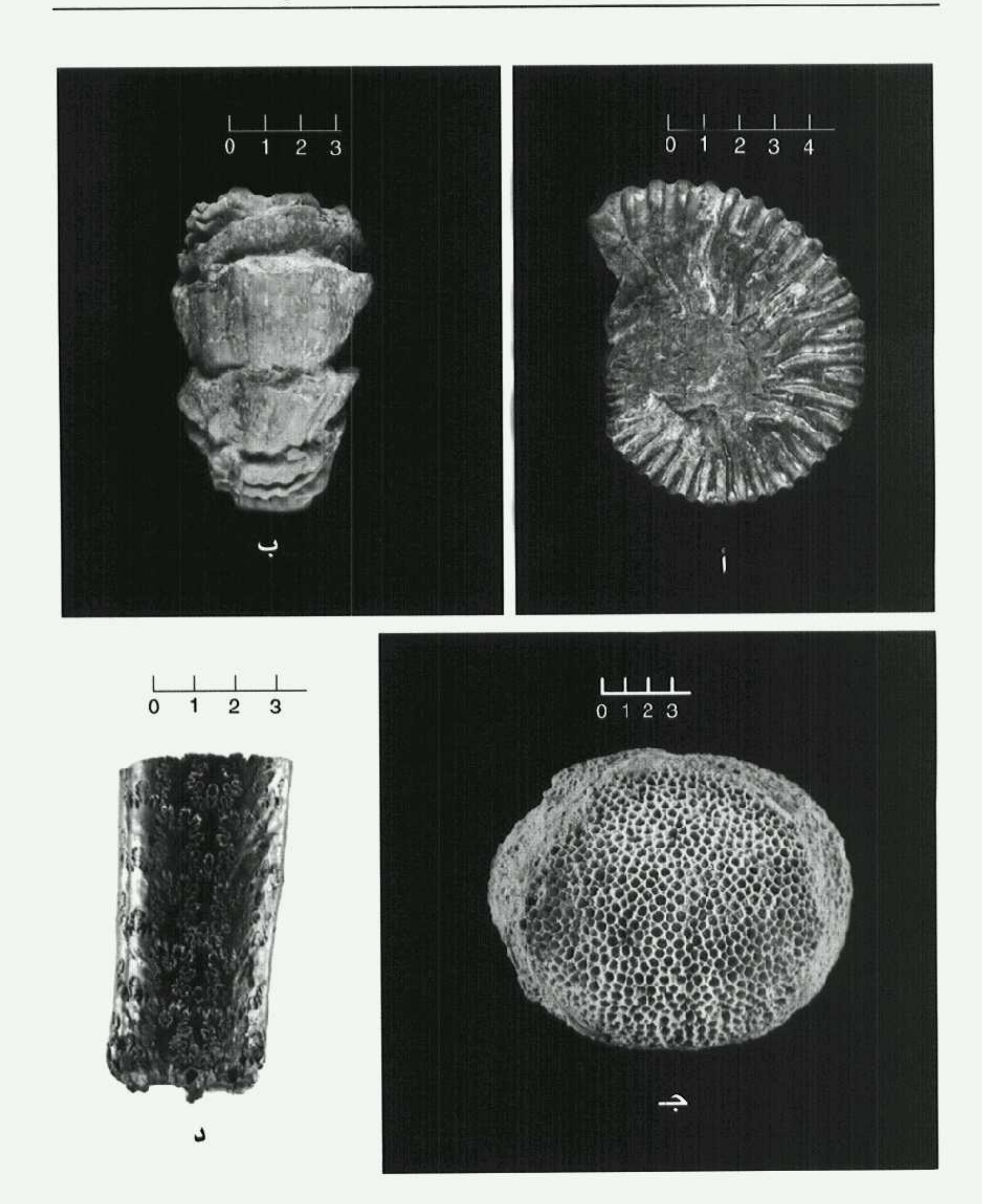
ب- ١٢٠ مليون سنة

جـ - ٨٠ مليون سنة

د- ٤٠ مليون سنة

شكل (١٣٠) إعادة تصور شكل اليابسة في خلال حقبي الحياة المتوسطة والحديثة حيث أدى تقطيع أرض البانجيا إلى ظهور القارات بشكلها الحالي.

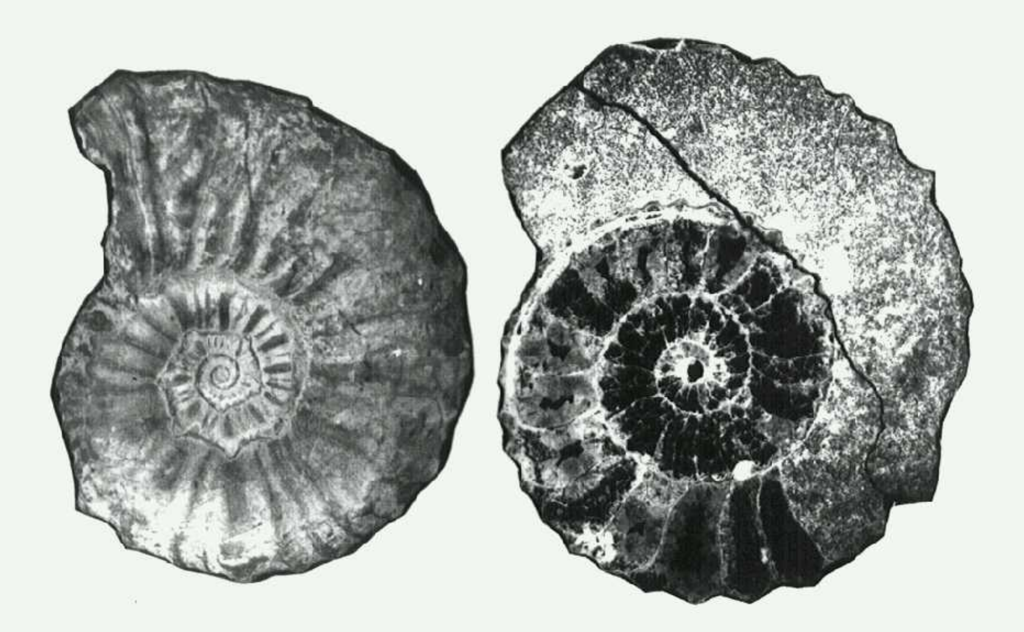
(From Thompson *et al.*, 1995, P. 181, Fig. 8.21).



شكل (١٣١) بعض أحافير العصر الطباشيري.

أ- *Columbiceras tobleri* ب- *Sauvagesia sharpei*
جـ - *Antigustraea jacobi* د - *Baculites anceps*

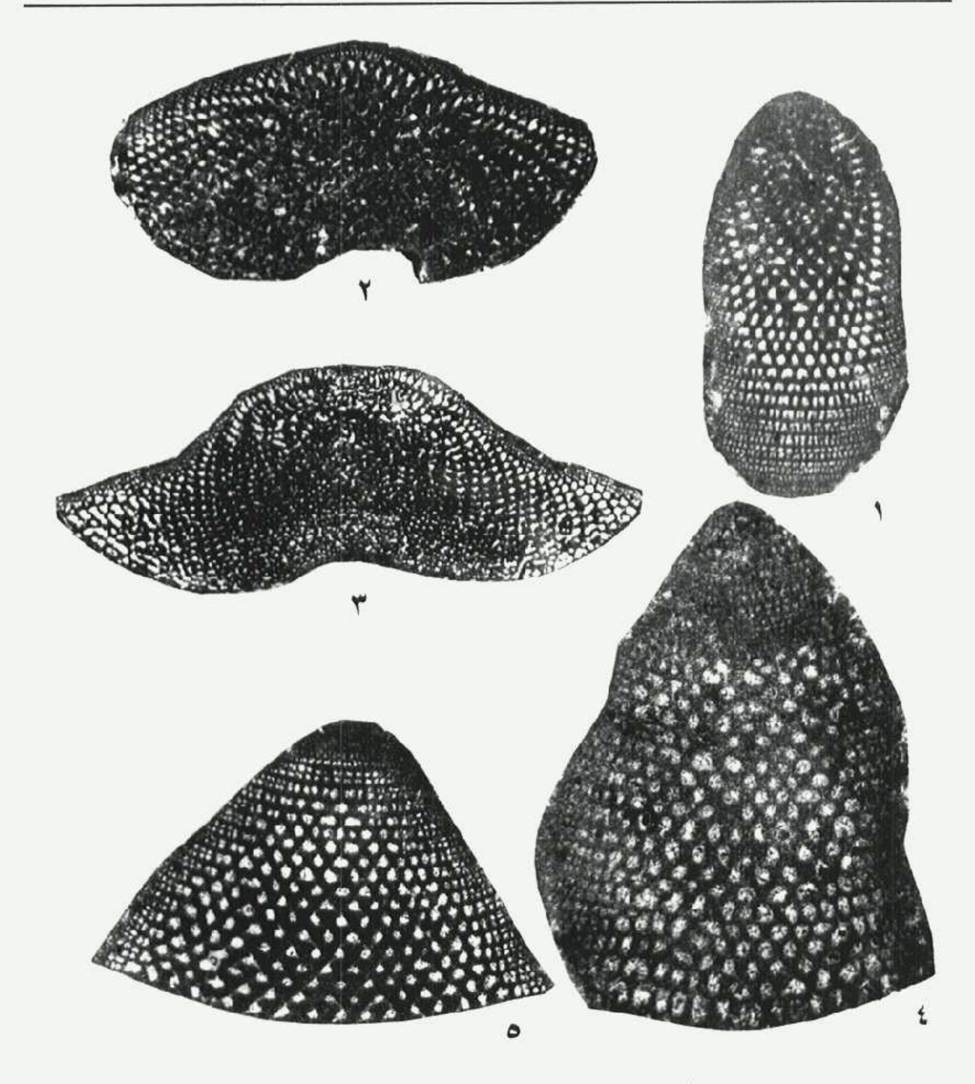
(أ- عـن حمامـة ١٩٨٥م، جـ- عـن حمامة ١٩٩٢م، ب، د- من عينات المتحـف الجيولوجـي، جامعـة قطـر).



شكل (١٣٢) أحفورة من جنس *Libycoceras ismaeli* أ- مقطع عرضـــي خـــارجي ب- الشـــكل الخارجي، متكون الضوي، الكمباني، جبل أبو حاد – وادي قنا بمصر.
(From Hammama, H. H., 1990, P. 729, Pl. 1, Fig. 2).

ب – الحياة على اليابسة في حقب الحياة المتوسطة:

يسمى هذا الحقب عصر سيادة الزواحف ، وقد بلغتت الزواحف أحجاماً هائلة مخيفة منـــها ماكان يتغذى على النبات (Herbivorous) ومنها آكلات اللحوم (Carnivorous) وقـــد غـــزت اليابسة والماء وحتى الهواء ، فكان منها زواحف بحرية تشبه الأسماك تعرف بـــالاكثيوصُوُرْس (Ichthyosaurs) ومايشبه الحيتان تعرف بـــالبليزيوصُوُرْس (Plelsiosaurs) (شـــكل ١٣٤)، ومن الزواحف البرية أنواع غاية في الضخامة عرفت بالدناصير (Dinosaurs) منها وحـــوش مردة ضارية سكنت البراري والجبال مثل جنس التيرانوصُوُرْس *Tyranosaurus* . وكان مـــن الدناصير مخلوقات بلغت أحجاماً لم تبلغها كائنات أخرى خـــلال الزمـــن الأرضـــي ، وكـــان معظمها من آكلات النبات مثل جنس الـــبرونتوصُوُرْس *Brontosaurus* ، وعاشـــت خـــلال الحقب الزواحف طائرة معروفة بالبتروصُوُرْس (Pterosaurs) ذات أجنحة كأجنحة الخفـــافيش. وبجانب الزواحف ظهرت الطيور لأول مرة في أثناء العصر الجوري. والجديـــر بـــالذكر أن جميع الدناصير والزواحف البحرية والزواحف الطائرة قد انقرضت بنهاية الحقب. هـــذا وقـــد عاشت أسلاف الثدييات في نهاية حقب الحياة المتوسطة.



شكل (١٣٣) بعض أحافير المُنْخَرِبَات الكبيرة من الأوربيتولينيدز (Orbitolinids) من صخور الأبـتي – شمال سيناء ، مصر.

١- *Paleodictyoconus* sp. (x34)   ٢ ، ٣- *Praeorbitulina* cf. *corrange* (x44)

٤- *Volserina broennimonni* (x63)   ٥- *Alpillino* sp.

(عن حمامة "تحت الإعداد من متكون ريسَان عُنَيْزة").

وفي عالم النبات سادت السرخس (Cycads) الصنوبريات (Conifers) ونمتا نمواً عظيماً حتى سمى عصر الجوري عصر سيادة السراخس والصنوبريات (Age of Cycads)، وأيضاً ظهرت النباتات المزهرة مغطاة البذور (Angiosperms) لأول مرة.

مناخ وجغرافية حقب الحياة المتوسطة:

كان مناخ العصر الترياسي مناخاً شبه قاري جاف حيث انتشرت رواسب الحجر الرملي الأحمر الجديد (New Red Sandstone) واتسعت رقعة المناطق الصحراوية، ولم يكن هناك أثر لأية أغطية جليدية ، بينما كانت مياه البحار دافئة كما تشير إلى ذلك رواسب الدولوميت. وفي العصر الجوري غزا البحر مساحات كبيرة من الأرض وأصبح المناخ أكثر دفئاً ورطباً وتقلصت المساحات الصحراوية . وتكونت خامات الفحم الإقتصادية. ويعكس العصر الطباشيري تنوعاً كبيراً في البيئات القديمة وكان المناخ معتدلاً ومتجانساً عالمياً. وقد سادت الرواسب الفتاتية في الطباشيري المبكر بينما انتشرت رواسب الحجر الجيري والطباشير في جزئه المتأخر. ونحو نهاية العصر حدث اضطراب أرضي عرف بثورة اللاراميد (Laramide Revoltuion) أو حركة بناء جبال الألب الكبيرة (Great Alpine Tectonic).

ويمكن في إيجاز شديد تلخيص أهم مميزات العصور الأرضية الثلاث لحقب الحياة المتوسطة فيما يلي :

أولاً : العصر الترياسي : تميز العصر الترياسي بتنوع فقاريات اليابسة وظهرت الزواحف شبيهة الثدييات ، كما ظهرت أوائل الثدييات. وظهر المرجان السداسي (Hexacorals) وسرطان البحر (Carb) وشبيهات الروبيان لأول مرة ، وتعقد خط الدرز في الأمونيتات. وانتشرت الغابات مثل غابات الأريزونا المتحجرة المتكونة من النَّخيليات التي بلغ أطوال بعضها ١٠٠ قدماً وقطرها ١٠ أقدام ولربما بلغ طول حاملات المخاريط (Cone-Bearing) علواً وصل إلى ٢٠٠ قدم.

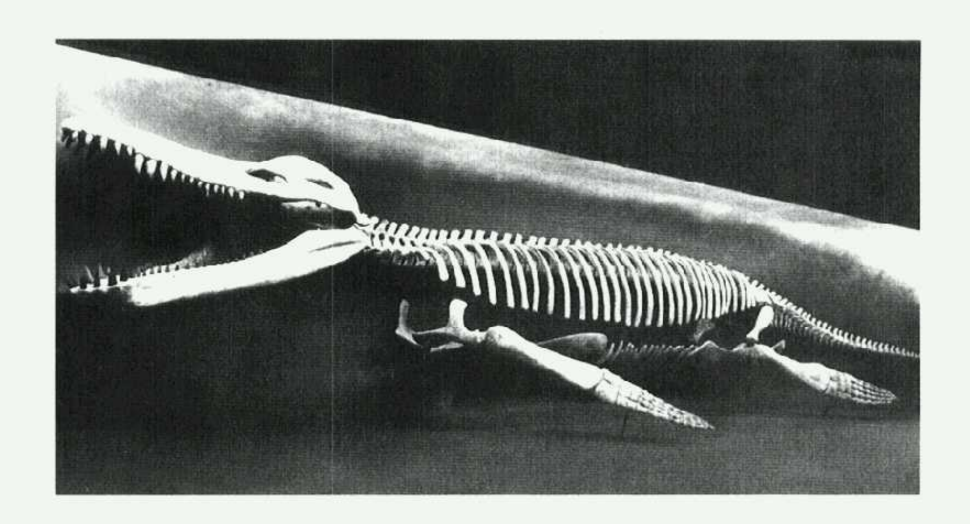
والجدير بالذكر أن الترياسي يتميز بسحنات قارية في الجزء السفلي والجزء العلوي وبسحنة بحرية في جزئه الأوسط.

الجوري : يمثل العصر الجوري عصر سيادة الزواحف والأمونيتات ، وتأكد ظهور الثدييات وظهرت الطيور لأول مرة مثل طائر الأركيوبتيركس (Archaeopteryx) **(شكل ١٣٥)** وظهرت العتة والحشرات الطائرة من مثل الجراد وغير الطائرة من مثل النمل والخنافس.

وبينما حقب الحياة المتوسطة يمثل عصر سيادة الزواحف فإن الجوري يشهد قمة تطورها فقد غزت الهواء والبحار وسادت اليابسة بأعداد وتنوعات هائلة. ولم تكن الزواحف الطائرة شبيهة بطائر الأركيوبتيركس بل كان الكثير منها غير قادر على الطيران مثل الطيور ولكنها

كانت زاحفة (Gliding)، وتدرجت أطوالها من عدة بوصات إلى قرابة ٤ أقدام. هذا وقد بلغت الزواحف البحرية قمة تطورها ممثلة بالإكتيوصورس (*Ichthyosaurus*) والبليزيوصورس (*Plesiosaurus*) والهوميوصورس (*Homoeosaurus*) (شكل ١٣٦).

أما عن دناصير اليابسة فقد سكنت الأرض اليابسة والمستنقعات والأنهار. وكان حجمها يتراوح مابين حجم الديك إلى أحجام العمالقة مثل أجناس براكيوصورس (Brachiosaurs) والبرونتوصورس (*Brontosaurus*) والدبلودوكس (*Diplodocus*) (وقد بلغ طول أحد أنواع الجنس الأخير وهو الدبلودوكس سيميجي (*Diplodocus cemegii*) ٩٠ قدماً ووزنه ٥٠ طناً) (شكل ١٣٧)، وكان آكلاً للنباتات ويعيش في المستنقعات.

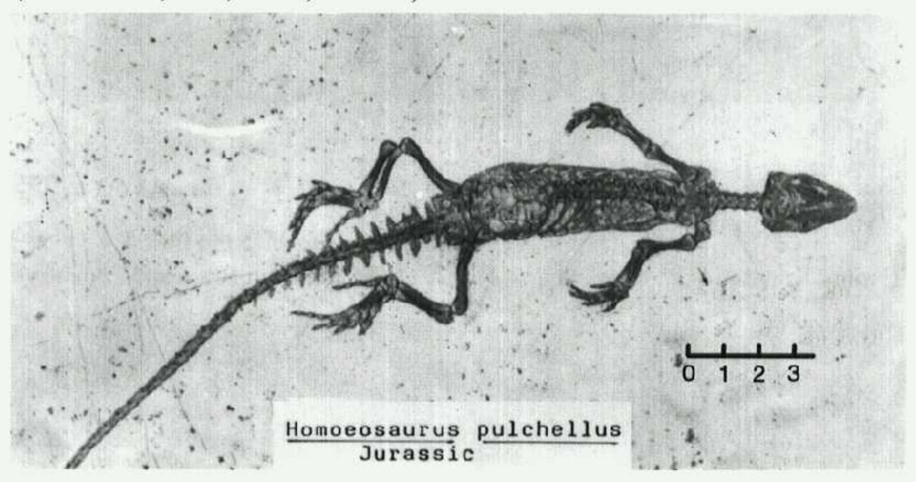


شكل (١٣٤) البليزيوصورس يمثل أكبر الزواحف البحرية في العصر الطباشيري، حيث بلغ طول رأسه الضخم ٢٫٧٥ متراً ، وطوله ١٣ متراً.

(From Thompson *et al.*, 1995, P. 542, Fig. 20.77, by Hartcourt Brace and Company).



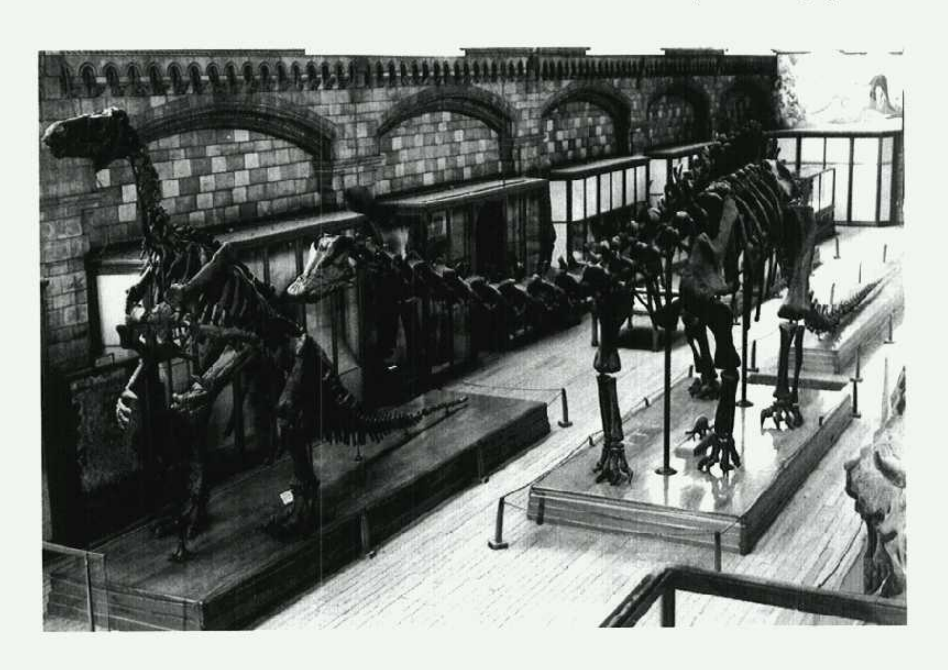
شكل (١٣٥) طائر الأركيوبتيرس (*Archaeopteryx*) ويمثل أول الطيور التي ظهرت على الأرض.
(From Lemon, 1993, P. 369, Table 63).



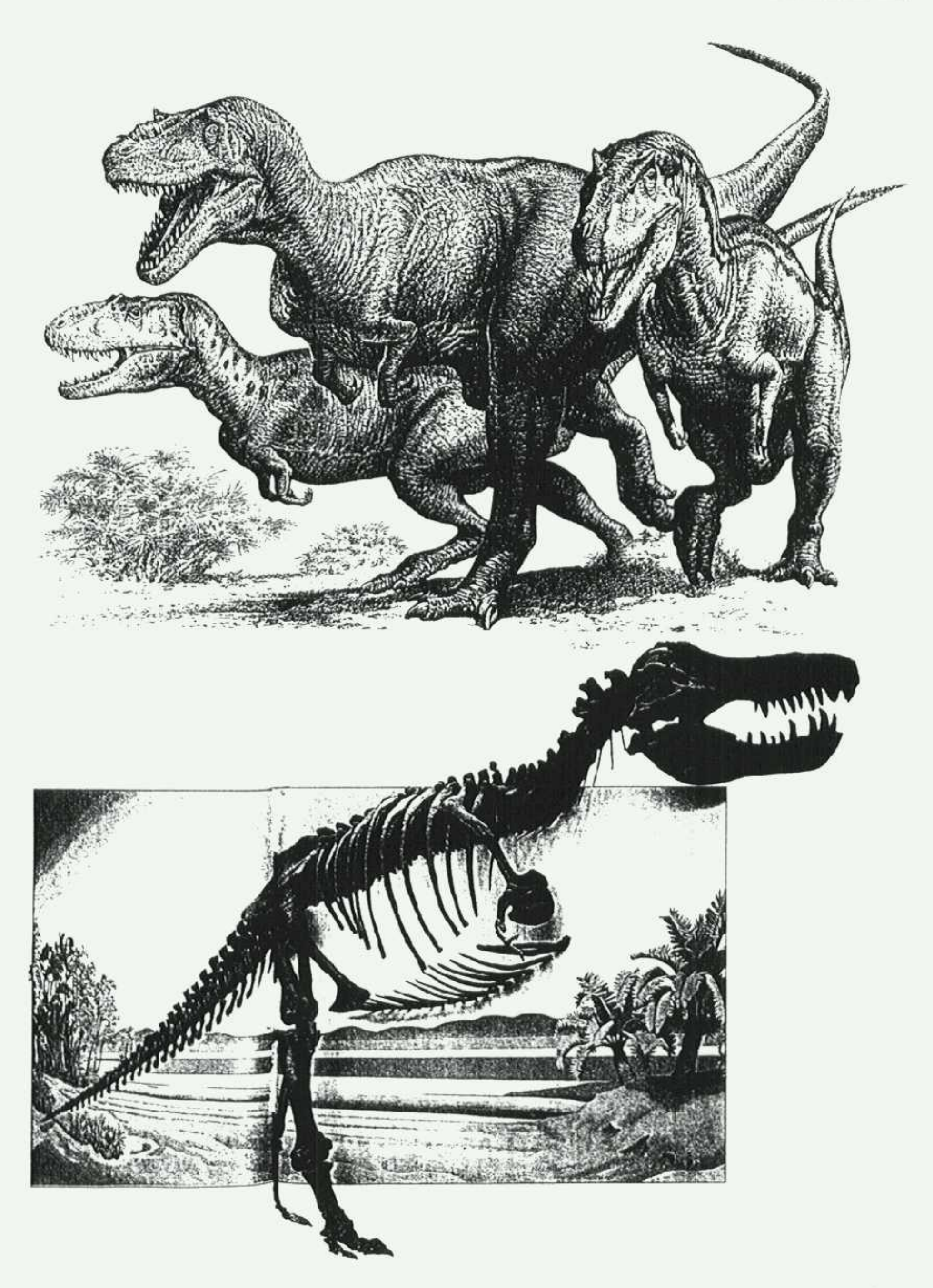
شكل (١٣٦) زاحف بحري الهوميوصورس بلكيلس ***Homoeosaurus pulchellus*** من العصر الجوري.
(من عينات المتحف الجيولوجي - جامعة قطر).

وكان هناك نوع له منقار يشبه منقار البط يبحث عن غذائه في الرمل ورواسب القاع الضحلة، ومن الدناصير آكلات العشب نوع يعيش خارج المستنقعات ومدرع بألواح عظيمة تكسو ظهره وذيله مثل جنس ستجوصورس (Stegosaurs).

العصر الطباشيري : واصلت الزواحف أهميتها على مسرح الحياة حتى نهاية حقب الحياة المتوسطة ، وسادت الدناصير وتأقلمت مع كافة البيئات وكان منها نوع مرعب يسمى تيرانوصورس ركس (*Tyrannosaurus rex*) (شكل ١٣٨) يسير على رجليه الخلفيتين ، أما رجلاه الأماميتان فكانتا صغيرتان، وإذا انتصب بلغ طوله ٢٠ متراً ، كما أنَّ رأسه يبلغ طولها متراً وربع المتر تقريباً وله فكّان قويّان مُدْعَمَان بأسنان حادة يبلغ طول السن منها ثمانية عشر سنتيمتراً وبين الأسنان فراغات تتسع لطفل بكامله، وكان لهذا الديناصور القدرة على مصارعة أي ديناصور من دناصير زمانه من آكلات العشب، هذا مع العلم بأنه من آكلات اللحوم (Benton, 1993). ومن دناصير العصر الطباشيري نوع ذو قرنين يبرزان من الجبهة بالإضافة إلى قرن ثالث قصير يقع فوق الأنف، تُعْرَف بالدناصير ذوات القرون (Horned Dinosaurs or Ceratopsians). ويعد البليزوصورس من أكبر الزواحف البحرية في العصر الطباشيري (شكل ١٣٤).



شكل (١٣٧) هيكل كامل لدينوصور الدبلودوكس كارنيجي (*Diplodocus carnegii*) وعلى يمينه دينوصور إجوانودون (*Iguanodon bernissartensis*) آكل النباتات ، متحف كارنيجي في ألمانيا.
(From Benton, 1993, P. 26).



شكل (١٣٨) دينوصور تيرانوصورس ركس (*Tyranosaurus rex*)
(From Benton, 1995, P. 50- 51).

هلاك الدناصير وغيرها من الكائنات في نهاية العصر الطباشيري:

في محاولة لتفسير سبب الهلاك الجماعي للكائنات والذي أدى إلى إنقراض الدناصير وبعض الكائنات الأخرى في نهاية الطباشيري، أعلن علماء الكيمياء في الولايات المتحدة أنهم قد اكتشفوا نتيجة تحليلهم لسناج (رماد الدخان) يرجع عمره إلى ٦٥ مليون سنة ، أن حريقاً ضخماً قد شب في العالم كله مِمّا ساهم في انقراض الدناصير وبعض الكائنات الحية الأخرى.

وأوضح علماء الكيمياء بجامعة شيكاغو أنّ كميات ضخمة من السّناج قد ظهرت في العالم كله ، وهو مايمكن أن يكون نتيجة حريق ضخم أو غازات ساخنة وقال العلماء أن السّناج يمثل الغبار المتساقط من سحابة دخان كثيفة يمكن أن تكون قد أحدثت في العالم حالة من الظلام الدامس والبرودة. وقد أعلن العلماء في شيكاغو أنهم قد اكتشفوا بعد تحليل بقايا السناج الموجودة بالرسوبيات أن عاصفة نتجت من ارتطام واصطدام نجم أو مذنب ضخم بالأرض وهو مايعد دليلاً جديداً مؤيداً للإفتراض الذي تم التوصل إليه والذي افترض أن شيئاً من خارج الأرض قد اصطدم بها بقوة شديدة منذ ٦٥ مليون سنة ونتج عنه انتشار سحابة من الغبار غطت العالم كله أدت إلى إنقراض الحيوانات المفترسة كما أبيدت نصف مجموعة النباتات والحيوانات.

وقد اضاف اكتشاف السناج عاملاً مهلكاً جديداً لسيناريو الدمار وهو النيران ، فالحريق الهائل الناتج عن الإصطدام قد أدى إلى دمار معظم الحياة النباتية في العالم كما يظن العلماء حيث نتج عن اللهب استنفاد الأكسجين وتلوث الهواء بأول أكسيد الكربون وقد ساهم الدخان في حجب ضوء الشمس عن العالم.

وتتعدد الآراء حول أسباب الهلاك الجماعي في نهاية العصر الطباشيري ما بين أسباب فيزيائية أتت من الأرض ذاتها وأسباب كونية أتت من خارج الأرض (Extraterrestrial) نتيجة ارتطام مذنب هائل بالأرض يستدل عليه من وجود عنصر الإيريديوم (Iridium) بتركيز شديد في الصخور عند الحد الفاصل بين العصر الطباشيري والعصر الثالي.

حقب الحياة الحـديثة

(Cenozoic Era)

يمثل حقب الحياة الحديثـــة آخر الأحقـــــاب في تاريخ الأرض، وقـــد دام لمـدة ٦٥ مليون سنة ، أخذت فيها الأرض زُخْرُفَها وزينتها الحالية ، واكتسبت الحياة نمطـــها الحديـث. وخرجت جبال زاغروس والألب والهيمالايا من أعماق البحار، وتآكلت جبـــال الروكــي ثـم برزت ثانية. ويمثل الحقب أيضاً زمن حركة الألواح البنائية واتساع قاع البحر حيث تجـــددت ٥٠% من قيعان المحيطات عبر الأحْيُد المحيطية واتسع كل من المحيط الأطلســـي والمحيــط الهندي وتحركت أمريكا باتجاه الغرب.

شكل اليابسة أثناء حقب الحياة الحديثة:

مع بداية هذا الحقب وفي أثناء عصر الباليوجين (Paleogene) أصبحت قارات الجندوانـــا منفصلة، ولم تتلامس بعد الأمريكتان عبر ماعرف بعـــد ذلـك بمضيـق بنمـا (Pannama Isthmus) ، واقتربت أفريقيا من جنوب القارة الأسيوأوربية (Eurasia) وأخذت في الإقـــترب السريع كل مـــن تركيا وبـــلاد فارس والهند وربما الصين لتلتحــم مـــع إيوراســيا. أمـا أستراليا والقارة القطبية الجنوبيـــة فقـد أصبحتا منفصلتين تماماً واحتلتا جـزءاً مـــن جنـوب شـــرق آسيا (شكل ١٣٩).

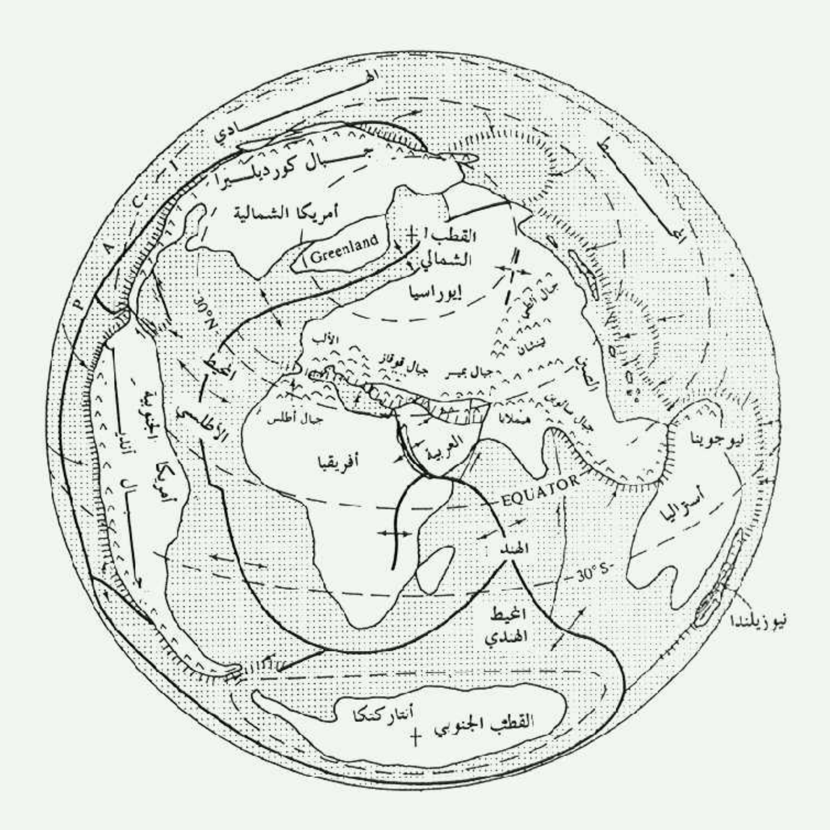
وفي وسط وأواخر حقب الحياة الحديثة التحمت الكتل القارية الواقعة جنوب آســـيا مكونـــة سلاسل جبال الشرق الأدنى ووسط آسيا وإندونيسيا. وقد انفصلت أمريكا الشمالية عن إيوراسـيا فيما بين جرينلاند والمنطقة الاسكندنافية وذلك في أثناء القسم المبكر من حقب الحياة القديمـــة، ولكنهما عاودتا الاتصال ثانية في أواخر الحقب وأصبح المحيط المتجمد الشمالي يمثل الامتـداد الشمالي للمحيط الأطلسي.

تقسيمات حقب الحياة الحديثة

يقسم حقب الحياة الحديثة عادةً إلى سبعة عهود أو أحْيُن (Epochs) مرتبة من الأقدم إلـــى الأحدث إبتداءً من الباليوسين (Paleocene) (٧–٨ مليون ســـنة) فالإيوســـين (Eocene) (٢١ مليون سنة) فالأوليجوسين (Oligocene) (١٣ مليون سنة) فالميوســـين (Miocene) (٥ر١٨– ١٩ مليون سنة) فالبليوسين (Pliocene) (٣–٧ر٣ مليون سنة) فالبليستوســـين (Pleistocene) (٧ر١–٩ر١ مليون سنة) وأخيراً الهولوسين (Holocene) (٠٠ر١٠٠ سنة).

ويوجد طراز (Stratotype) البليوسين في شمال فرنســا وطراز الإيوســين في حوضـــي باريس ولندن وطراز الأوليجوسين في حوض هانوفر (Hanover) في شمال ألمانيـــا وطـــراز

الميوسين في غرب فرنسا ، بينما يوجد طراز كل من البليوسين والبليستوسين فـــي إيطاليـــا ، ولايوجد طراز مختار عهد الهولوسين حيث تمثل الأرض الحالية حقلاً له.



شكل (١٣٩) يبين كيف أخذت القارت مواضعها الحديثة تدريجياً في أثناء حقب الحياة الحديثة ، وفي الوقت الذي أخذ فيه كل من المحيط الأطلسي والمحيط الهندي في الاتساع فقد أُغلِق محيط التيثس من جراء تصـــادم أفريقيا والهند وقطع قارية أخرى مع الحافة الجنوبية لإيوراسيا، وتكونت سلاسل جبال الهيمالايا والشـــرق الأدنى والألب. وفي أواخر الحقب انفصلت أستراليا عن القارة القطبية الجنوبية. أمـــا أمريكـــا الشـــمالية وإيوراسيا اللتان انفصلتا في حقب الحياة الحديثة المبكر فقد أُعيد اتحادهما في إقليم شرق سيبيريا وألاَســـكا. كما برزت جبال الكوردليرا وجبال الأنديز من جراء تصادم ألواح المحيط الهادي وغرب الأمريكتين.

(From Mintz, 1981).

نظرية تاريخية حول أقسام الزمن الأرضي لحقب الحيـــاة الحديثـــة (Cenozoic Geologic Time Scale) :

عولجت تقسيمات حقب الحياة القديمة منذ أمد بعيد حتى وقتنا الحالي، ففـــي عـــام ١٨٣٣م عَرَّف العالم تشارلز ليل (Charles Lyell) ثلاثة أقسام زمنية لنظام الثـــالثي (Tertiary) وهـــي الإيوسين (Eocene)، والميوسين (Meocene)، والبليوسين الأقدم (Older Pliocene) والبليوسين الأحدث (Newer Pliocene). وقد استخدم العالم ليل النسبة المئوية لأنواع الكائنات البـــائدة (% Extinct Species) وتلك التي ما تزال حية (% of Living Species) كأساس لتقسيم العصـــــور السابقة.

وأضيف تقسيم الأوليجوسين (Oligocene) في عـــام ١٨٥٤م ثـــم أضيـــف أيضـــاً قســـيم الباليوسين (Paleocene)عام ١٨٧٤م **(جدول ٣٢).**

وفي الوقت الذي يوجد فيه اتفاق عالمي على أقسام حقب الحياة الحديثة السابق ذكرها فـــإن العصور التي تضم تلك الأقسام مختلف عليها. فبينما يفضل أغلب علمـــــاء أوروبـــا وبعـــض الأمريكيين إستخدام عصر الباليوجين (العصر النميوليتي Nummulitic) وعصـــر النيوجيـــن (Neogene) مع وضع الحد الفاصل بينهما بين الأوليجوسين والميوسين بدون تحديد طراز لكـــل من العصرين السابقين، بالإضافة إلى العصر الرابعي (Quaternary)، فـــإن أغلـــب العلمـــاء الأمريكان وبعض العلماء الأوروبيين يفضلون تقسيم حقب الحياة الحديثـــة إلـــى عصريـــن : الثالثي (Tertiary) والرابعي (Quaternary) ويضعون الحد الفـــاصل بينـــهما بيـــن عـــهدي البليوسين والبليستوسين.

وحديثاً يقسم بعض المتخصصين في علوم الأرض حقب الحياة الحديثة إلى ثلاثة عصـــور مرتبة من الأقدم إلى الأحدث إبتداءً من الباليوجين فالنيوجين وأخيراً الرابعـــي. وفـــي بعـــض التقسيمات الحديثة يحل البليستوجين (Pleistogene) محل الرابع. فنجد أنَّ البـــاليوجين يضـــم الباليوسين والإيوسين والأوليجوسين وأن النيوجين يضم الميوسين والبليوسين ويضم الرابـــع أو البليستوجين كلاً من البليستوسين والهولوسين **(جدول ٣٢)**. ويقسم العـــالم الدكتـــور زغلـــول النجار **(١٩٧٩م)** تقسيم حقب الحيـــاة الحديثـــة إلـــى عصـــور البـــاليوجين (Paleogene) و الميزوجين(Mesogene) والسينوجين (Cenogene) لتقـــابل عصـــور البـــاليوجين والنيوجيـــن والرابعي على التوالي في التقسيمات الحديثة.

جدول (٣٢) تقسيمات حقب الحياة الحديثة من قبل العالم تشارلز ليل (Charles Lyell) حتى وقتنا الحالي.

(Modified from Cooper *et al.*, 1990 and Thompson *et al.*, 1995).

حقب (Era)	عصر (Period)	تقسيم ليل	التقسيمات الحديثة: عصر		التقسيمات الحديثة: عهد (حين)	العمر* (ملايين السنين)
الحياة الحديثة (١٨٤١م) (Cenozoic)	الرابعي Quaternary	الحديث (أول ظهور الإنسان على الأرض)	الرابعي (١٨٢٩م)		الهولوسين (١٨٨٥م)	٠١ر٠
		البليوسين الأحدث (١٨٣٣م) (٩٠% من الأنواع الحية)			البليستوسين (١٨٣٩م)	٦ر١
	الثالثي (١٧٦٠م) (Tertiary)	البليوسين الأقدم (١٨٣٣م) (٣٣–٥٠% من الأنواع الحية).	النيوجين (١٨٥٣م) (Neogene)	الثالثي	البليوسين	٣ر٥
		الميوسين (Less Recent) (١٨٣٣م) (١٨% من الأنواع الحية)			الميوسين	٧ر٢٣
		الإيوسين (Dawn of Recent) (١٨٣٣م) (٣ر٥ % من الأنواع الحية)	الباليوجين (١٨٦٦م) (Paleogene)		الأيجوسين (١٨٥٤م)	٦ر٣٦
					الإيوسين	٨ر٥٧
					الباليوسين (١٨٧٤م)	٤ر٦٦

* تقديرات الأعمار بملايين السنين مقدرة وفقاً : (According The Decade of North American 1983, Geologic Time Scale.)

( ) التواريخ بين الأقواس تشير إلى الأعوام التي اقترحت فيها التسميات.

جفاف البحر الأبيض المتوسط أو نكسة ملوحة الميسيني [(The Drying up of the Mediterranean Sea) or (The Messinian Salinity Crisis)] :

يدل وجود طبقات المتبخرات السميكة التي عثر عليها في الآبار المحفورة في عمق البحر الأبيض المتوسط وفقاً لمشروع الحفر في البحر العميق [Deep Sea Drilling Project (DSDP)] على أنّ البحر الأبيض المتوسط كان يمثل حوضاً عميقاً ينخفض قاعه بحوالي ٢٠٠٠ متر عن مستواه الحالي حيث ترسبت به متبخرات بلغ سمكها ٢ كيلومتراً خلال فترة مقدارها ٢٠٠٠٠٠ر٢٠٠ سنة. وقد حدث ذلك منذ ٥ر٥ – ٥ر٣ مليون سنة في أثناء الميسيني فيما عرف بنكسة ملوحة الميسيني (The Messinian Salinity Crisis) ، حيث كان الحوض مملوءاً برواسب البحيرات الصحراوية ورواسب البلايا (Playas) . وفي أثناء فترة

الجفاف انخفض مستوى سطح البحر حوالي ٥٠ متراً وكان أقرب شبهاً بالبحر الميت ، وكانت تقطعه أخاديد الأنهار الآتية من شمال أفريقيا ، وقد وضع العلماء نموذجاً يوضح وجود أخدود كبير تحت مدينة القاهرة. هذا وقد أخذ البحر الأبيض المتوسط في التكوين منذ قرابة ٥ر٥ مليون سنة بعد أن فُتح مضيق جبل طارق (The Strait of Gibraltar).

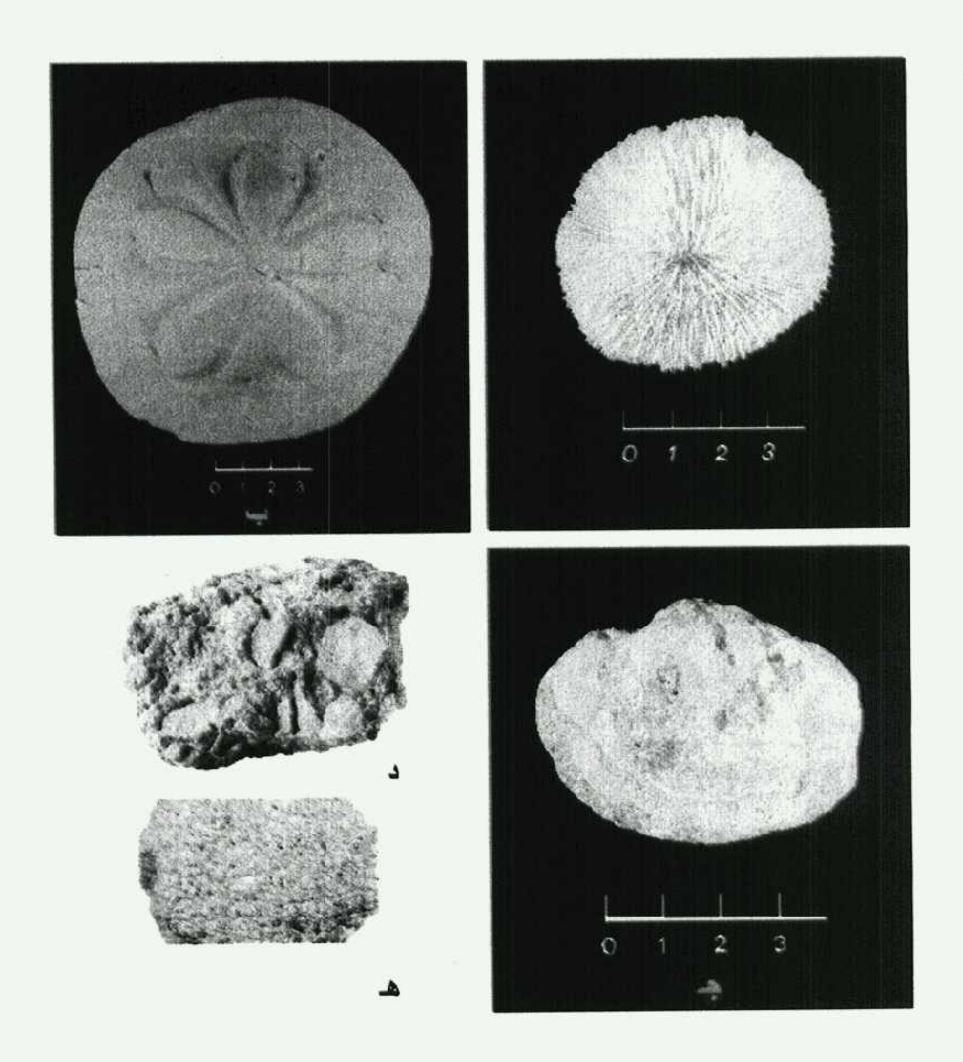
نهاية محيط التيثس ومولد جبال الألب والهيملايا :

كان محيط التيثس في أثناء الجزء الأكبر من حقب الحياة الحديثة يفصل أوراسيا عن جندوانا. ثم اختفى هذا الممر كليةً أثناء الباليوجين نتيجة تلامس القطعة العربية – الأفريقية مع أوروبا وتقارب الهند مع آسيا فنشأت سلسلة جبال الألب والهيملايا الممتدة لمسافة ١٧٫٠٠٠ كم ، ونشطت القشرة عبر هذا الحزام في أوقات مختلفة من حقب الحياة الحديثة ، فمع بداية الإيوسين نشطت حركة الألب التجبلية، وفي الميوسين اصطدمت شبه الجزيرة الهندية مع آسيا وبرزت جبال الهيمالايا وهضبة التبت بينما أخذت الهند تغوص تحت أوراسيا. وفي أثناء الأليجوسين اندفعت سلاسل جبال خارج ممر التيثس وانزلقت على الأرض الواقعة شمال التيثس وتكونت رواسب العكر (المولاس) (Molasee) في أوروبا من تجمع هذه الرواسب الفتاتية.

الحياة أثناء حقب الحياة الحديثة (Cenozoic Life):

يمثل حقب الحياة الحديثة عصر سيادة الثدييات (Age of Mammals) على اليابسة بجانب الدور النشط لكل من النباتات كاسيات البذور (Angiosperms) والحشرات (Insects) . أما حياة البحر (شكل ١٤٠) فقد تميزت بانتشار وتنوع الأوليات (Protozoa) والمحاريات (Pelecypoda) واندثار الأمونيتات (Ammonites) التي انقرضت بنهاية العصر الطباشيري.

وتضم صور الحياة في بحار حقب الحياة الحديثة المجموعات الرئيسة التالية : الكوكوليثوفورز (Coccolithophores) والمشطورات (Diatoms) والسوطيات (Dinoflagellate) والطحالب الحمراء (Red Algae) والمُنْخَربَات (Foraminifera) (شكل ١٤٠ د) والشعاعيات (Radiolaria) والمرجان الصلب (Scleractinia) (شكل ١٤٠أ) وقنافذ البحر (Echinoidea) (شكل ١٤٠ب) والحزازيات (Bryozoa) والبطنقدميات (Gastropoda) والمحار أو ذوات المصراعين (Pelecypoda) (شكل ١٤٠جـ) والديدان الحلقية (Annelida) والقشريات (Crustacea) والأسماك (Fishes) . وقد سادت المُنْخَربَات القاعية والمسرجيات والمحار في البيئات البحرية الضحلة ، بينما عمرت الشعاعيات والعوالق في البيئات البحرية العميقة .



شكل (١٤٠) بعض أحافير اللافقريات البحرية من حقب الحياة الحديثة. أ- *Fungia* (الحديث)

ب- *Scutella* sp. (ميوسين) جـ- *Lucina* (ميوسين) د-هـ *Nummulite* spp. (إيوسين، مكونة الحجر الجيري النميوليتي). (أ، ب- من عينات المتحف الجيولوجي - بجامعة قطر، جـ- عن حمامة، ١٩٩٠م، د- عن والكر ووارد، ١٩٩٢م، هـ- عن بلانت، ١٩٩٢م).

ومن المُنْخَرِبَات (شكل ١٤٠د-هـ) نذكر على وجه التحديد أحافير جنس ***Nummulites*** ذات الصدفة الجيرية عدسية الشكل والتي عاشت في أثناء عهود الباليوسين والإيوسين والأوليجوسين وانقرضت بعد ذلك ، مكونة سمكاً هائلاً من الأحجار الجيرية ومنها نوع

نميوليتس جيزاهنسز *Nummulites gizehensis* الذي يميز صخور الإيوسين الأوسط والموجود بكثرة في صخور جبل المُقَطَّم وهضبة أهرام الجيزة. وقد سمى عصر الباليوجين بالعصر النميوليتي (The Nummulitic Age).

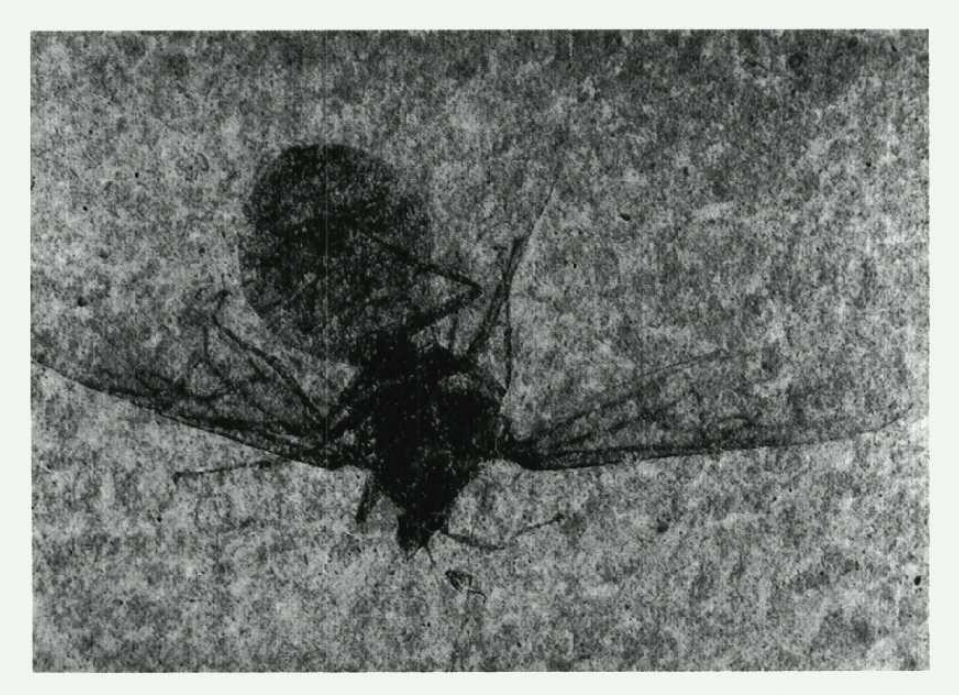
وقد استمرت البطنقدميات (Gastropoda) في الزيادة خلال حقب الحياة الحديثة، ويمثل الوقت الحالي عصرها الذهبي ولايعدلها اليوم في التنوع سوى الحشرات. أما المحاريات فقد استمرت في الإنتشار أيضاً في حقب الحياة الحديثة، وبلغت القنافذ البحرية الذروة. وتنوعت وازدهرت الحشرات (شكل ١٤١) ، كما شقت الأسماك طريقها في النجاح المستمر خلال الحقب وتنوعت الأسماك العظمية ذات الزعانف الشعاعية (شكل ١٤٢).

وعلى الرغم من الظهور الحثيث للثدييات في أثناء كل من عصور الترياسي والجوري والطباشيري خاصة وفي نهاية الطباشيري حيث سجلت ٣ مراحل في خلق الثدييات شهد الأولى منها عصر الترياسي والجوري وشهد الثانية عصر الطباشيري، أما الثالثة فقد شهدتها نهاية العصر الطباشيري ، إلا أن إشعاعة الحياة الحقيقية للثدييات بدأت مع مقدم الباليوسين، حيث ظهرت ١٨ رتبة من الثدييات. وتوجد أقدم بقايا الثدييات البياضة (Monotremes) في صخور الطباشيري ، ولايعيش منها الآن سوى ٣ أنواع. وتمثل أستراليا وأمريكا الجنوبية أهم مناطق تواجد الكيسيات (Marsuplals) في أثناء العصر الثالث ومن أمثلتها ثيلاكوسميلس *Thylacosmilus* في البليوسين بأمريكا الجنوبية.

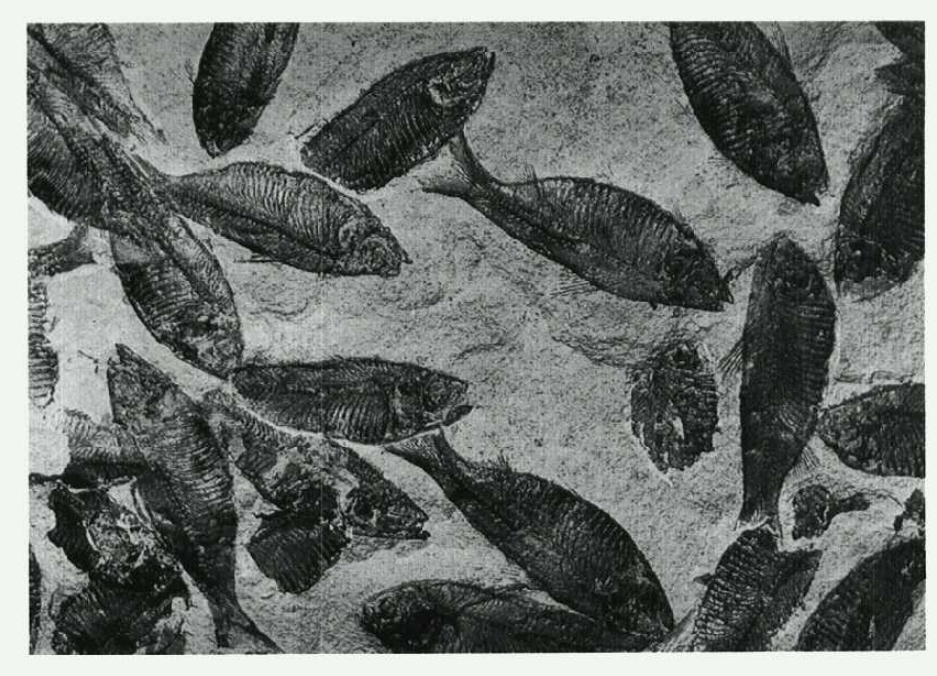
تنوعت الثدييات المشيمية (Placental Mammals) تنوعاً مذهلاً خلال حقب الحياة الحديثة ، وشملت آكلات الحشرات (Inectivoria) وآكلات النمل (Edentates) مثل جنس *Glyptoden* وآكلات اللحوم (Carnivora). وفي البحار ظهرت الحيوانات الحوتية (Cetaceans) منذ قرابة ٥٠ مليون سنة حيث ظهرت أوائل الحيتان في الإيوسين مثل *Basilosaurus*.

وتمثل الثدييات ذات الحافر (Ungulata) أكبر مجموعة من آكلات العشب وتضم ذوات الحوافر الحالية مجموعتين كبيرتين ، الأولى تضم الخيول الحديثة (Modern Horses) والرينوصيرس (Rhinoceroses) (Tapirs) وتسمى هذه المجموعة (Perissodactyls) ومن أمثلتها الرينوصورس العملاق من نوع بالوكيثيريوم (*Baluchitherium*) الذي بلغ علوه عن الأرض ٥ أمتار وعاش في الأوليجوسين والميوسين المبكر ، والمجموعة الثانية تسمى (Artiodactyls) وإليها تنتمي الجمال والماعز والوعول والضواري (شكل ١٤٣).

ومما لاشك فيه أن ظهور الإنسان الذي خلقه الله في أحسن تقويم ممثلاً بآدم عليه السلام وزوجه وذريته من بعده يُعد أهم معلم من معالم الحياة في العصر الرابعي.

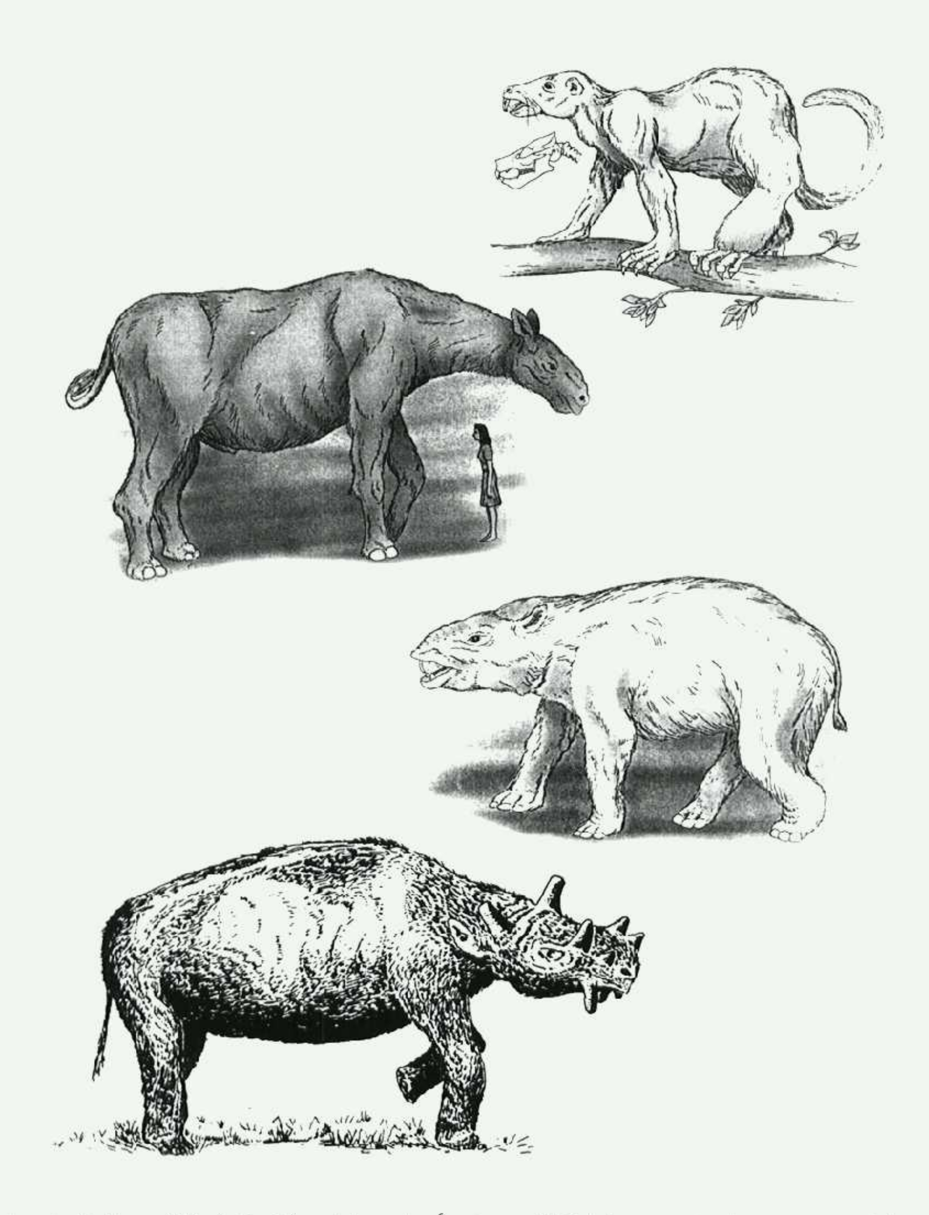


شكل (١٤١) نحلة متأحفرة من زمن الإيوسين. (From Busbey III *et al*., 1996, P. 222)



شكل (١٤٢) أسماك من جنس (*Knightia*) من زمن الإيوسين.

(From Busbey III *et al*., 1996, P. 234).



شكل (١٤٣) بعض ثدييات حقب الحياة الحديثة : أ- بليزيادابس (*Plesiadapis*) عاش في عهد الباليوسين. ب- موريثيريم (*Moeritherium*) أحد أجداد الفيلة الذي عاش في مصر في نهاية الإيوسين. جـ- الرينوصورس العملاق بالوكيثيريوم (*Baluchitherium*) الذي عاش في الأوليجوسين والميوسين المبكر. د- إنتاثيريوم (*Uintatherium*) أحد ثدييات حقب الحياة الحديثة.

(أ، ب، جـ - From Thompson et al., 1995, PP. 593, 589 and 585 respectively، د- (From Lemon, 1993, P. 392.

البليستوسين (ثلاجـــة الأرض الكبرى) [The Pleistocene Epoch or (The Last Great Ice Age)] :

يضم العصر الرابع (Quaternary) عهدين هما البليستوسين والهولوسين. والعـــهد الأخـــير يسمى أيضاً الحديث (Recent) وهو الذي نعيش فيه الآن ، ويرجع مولده إلى ١٠٠٠٠ سـنة مضت (بعض المراجع تقدر عمـــره بـــ ١٠٠٠٠٠ سنة). ويطلـــق على عهد البليستوســـين زمن الجليد العظيم (The Great Ice Age) . وتشير الدلائل إلى أنه في أثناء البليستوسين كـــان الجليد يغطي ما يقرب من ثلثي مساحة نصف الكرة الشمالي وأن سُمك الجليد قد بلغ في بعـض مناطق شمال كندا حوالي ٣٠٠٠ متر. وبالتأكيد فقد أحدث هذا الجليـــد تـــأثيرات مأســـاوية ، واليوم توجد بقايا ذلك الغطاء الجليدي في جرينلاند وحول القطب الشمالي.

وفي أثناء البليستوسين غطى الجليد على وجه التحديد ثلاثة منـــاطق مـــن نصـــف الكـــرة الشمالي وهي :

١ – المنطقة فوق خليج هدسون والتي شملت كندا وشمال الولايات المتحدة الأمريكية.
٢ – المناطق الإسكندنافية وماحولها حتى سهول شمال شرق ألمانيا وسيبيريا.
٣ – مرتفعات شرق سيبيريا.

الإنعكاسات البيئية لعهد البليستوسين

تعتبر التغيرات المناخية على المستوى العالمي من أهم مظاهر عهد البليستوسين الجليـــدي، حيث نتج عن الغزو الجليدي والفترات بين الغزو الجليدي انخفاض وارتفاع درجة الحـــــرارة. وتتركز أهم الأحداث الرئيسية في عهد البليستوسين فيما يلي :

١ – خلق الإنسان.
٢ – ظهور الرئيسيات الراقية (Higher Primates).
٣ – تغير إتجاه اللف في أصداف المُنْخَرِبَات.
٤ – تكوين مستودع جليدي كبير من الجليد والصقيع.
٥ – إزاحة النطاقات المناخية وسيادة الظروف القطبية في شمال أوروبا وأمريكا.
٦ – إزديان الجبال بالوديان الجليدية وتكون الرواسب الجليدية.
٧ – هطول الأمطار على المناطق الجنوبية لدرجة أن الصحاري الإفريقيـــة الجافـــة حاليـــاً إستقبلت كميات لابأس بها من الأمطار عند قدوم الهولوسين.
٨ – تكون بحيرات البليستوسين سواءً عن طريق تجميع الجليـــد الزاحـــف فـــي المنـــاطق المنخفضة التي فاضت بالماء بعد ذوبانه أو البحيرات المتكونة من تجمع مياه الأمطـــار

(Pluvial Lakes) وتكون رقائق طين البحيرات (Lake Varves) التي تعكس تغــيرات موسمية حيث تترسب رواسب الرقائق الغامقة شتاءً والرقائق الفاتحة صيفاً.

٩ – غرق المناطق الساحلية وتآكل الشواطيء أثناء الفترات بين الجليدية نتيجــة لإرتفــاع مستوى سطح البحر.

١٠ – تكوين عدة طبقات من الرواسب الجليدية التي تتخللــها نطاقــات التربــة والتجويــة ورواسب التربة الطفالية أو (اللوس) (Loess) وطبقــات غنيــة بأحــافير نباتــات وقاريات المناخ الحار. وتشير الرواسب البحرية إلى تعاقب أحــافير الميــاه الدافئــة وأحافير المياه الباردة.

١١ – تكوين الشرفات النهرية (River Terraces) وإعادة ترتيب أنماط الصرف النــهري (Drainge Patterns).

١٢ – النشــاط البركاني خاصة حول المحيط الهادي وتكوين مايعرف بدائرة النيران (Ring of Fire)، وحركات التشوه الأرضي (Diastrophism) وتكوين الشواطيء المرفوعة.

الحد السفلي للعصر الرابعي (The Plio-Plestocene Boundary) :

أُستخدمت الطرق التالية مجتمعة أو منفردة في تحديد قاعدة العصر الرابع أو بمعنى آخــر تحديد حد البليوسين–البليستوسين (Plio-Pleistocene Boundary) :

١ – تقديــر عمــر الصخــور البركانيــة بالطريقــة الإشعاعيــة.

٢ – تحديــد أقــدم غــزو جليــدي.

٣ – ملاحظــة التغيــرات في أصناف الثدييات.

٤ – التعرف على التغيرات في المُنْخَرِبــات الهائمــــة والنظائـــر فــي الرواســـب البحريــة العميقـــة.

٥ – إستخـــدام مــا يسمى بالتغيــرات في الخــط الزمنــي للإنســان.

٦ – إنعكــاس الأقطــاب المغناطيسيــة.

واستناداً إلى معلومات متنوعة تم الحصــــول عليــها مــن دراســة مرحلــة الكــالابري (CalabRian Stage) في "قاعدة البليستوسين" في سانتا ماريا دي ساتانزارو (Santa Maria di Catanzaro) وقطاع لوكاستيلا (Le Castella) **(قطاع مرجع الحد في إيطاليــا)** يظــهر أن الحد الفاصل بين كل من البليوسين والبليستوسين يتميز بانقراض الديسكوآســتر (Discoasters) وبداية ظهور جيوفيروكابسا كاريبيانكا (*Geophyrocapsa caribbeanica*) وجيوفيروكابســـا

أوشـــيانيكا (*G. oceanica*) وأيضـــا إختفـــاء جلوبيجـــيرينويدز أوبليكـــوس (*Globigerinoides obliquus*).

عصر الجليد البليستوسيني (The Pleistocene Ice Age) :

يمثل عصر الجليد البليستوسيني أحدث العصور الجليدية التي شهدتها الأرض. وقد أكدت الدراســات أن العصر الجليدي قد شهد تعاقب فترات جليدية (Glacial) وأخرى بين جليدية (Interglacial). وقـــد أفادت النظائر المُشِعَّة في تحديد أزمنة هذه الفترات ومقدار ديمُومَتِها على الأرض. وقد أمكن تقسـيم البليستوسين في أمريكا الشمالية إلى ٤ فترات جليدية يتخللها ٣ فترات بين جليديـــة (جـــدول ٣٣). وفي أوروبا يشمل البليستوسين ٤ فـــترات جليديـــة هـــي فـــترات جونـــزي (Gunzian) ومندلـــي (Mindelian) وريسي (Rissian) وفورمي (Wurmian) مرتبة من أسفل إلى أعلى.

جدول (٣٣) : الأزمنة الجليدية (المظللة) والبين جليدية (غير المظللة) في أثناء البليسوسين في أمريكا الشمالية.
(From Cooper et al., 1990).

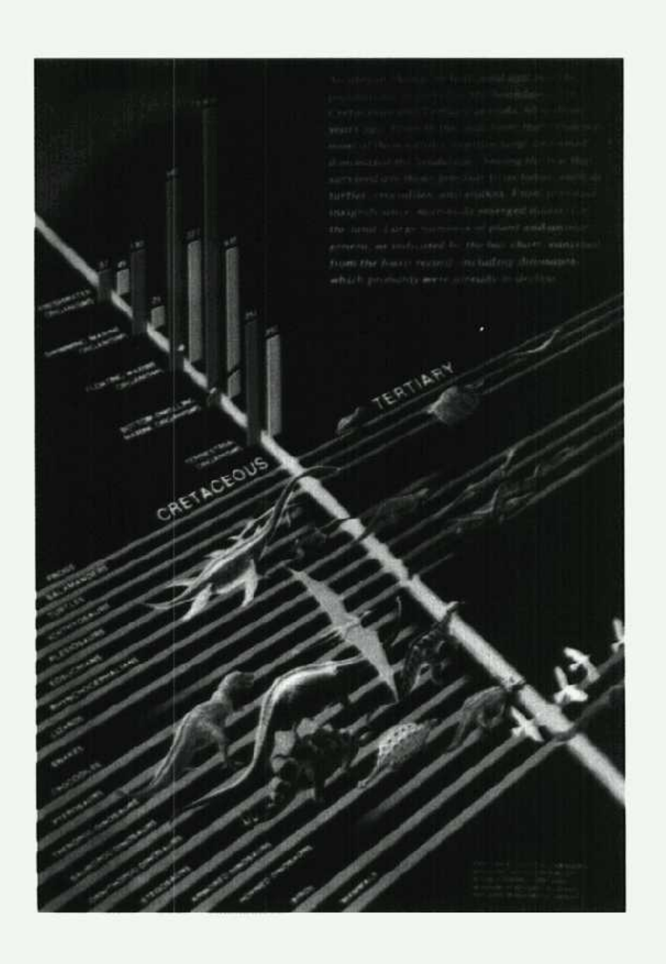
فترات العصر الجليدي	مراحل الثديات	العمر المطلق	المغناطيسية القديمة	المنخربات	العهد (الحين)
Wisconsinan ويسكونسيني	Rancho-labrean رانكولابريان		Brunhes برونس	Globorotalia truncatulinoides جلوبوروتاليا ترنكاتيولينويدز	البليستوسين
Sangamonian سانجاموني					
Illionian إليوني		٠ر٥			
Yarmouthian يارموثي	Irvingtonian إرفنجتوني				
Kansan كانسان		١ر٠	Matuyama ماتوياما		
Aftonian أفتوني	Blancan بلانكان	١ر٥			
Nebraskan نبراسكان		٢ر٠		Globorotalia and other Foraminifera جلوبوروتاليا ومنخربات أخرى	البليوسين
Preglaciation ما قبل الجليد		٢ر٥			

(غير المظلل يمثل الفترات الجليدية).

الفصل السادس عشر

تعاقب الحياة في تتابع من الاندثار والخلق الجديد

- خلـــق جـــــديد
- الكوارث أحداث عارضة
- ازدهار وتنوع الكائنات
- أسباب هلاك الكـــائنات



لوحة توضح أحداث الانقراض عند الحد الفاصل بين العصر الطباشيري والعصر الثـــالثي (مـــن المتحـــف الجيولوجي بجامعة قطر).



سورة النجم

تعاقب الحياة في تتابع من الاندثار والخلق الجديد

(Succession of Life Between Mass Extinction and New Creation)

حفظ التاريخ الأرضي سِجلاً رائعاً ، تميز بلحظات ظهور خلق متجدد ، كما سَجّل فـــترات إزدهرت فيها كائنات محددة وُجِدت بوفرة ملحوظة وتنوع مذهل وعرفت هذه الفترات بفــترات إشعاعة الحياة (Life Radiation). وعلى الجانب الآخر تعاقبت مع سلســـلة الخلــق مراحــل نكســـــــات وهلاك جماعي لصـــــور الحياة حيث تختفي مجموعات من الكائنات بــلا رجعة وتمثل هذه الفترات نكسات في تاريخ الحياة (Crises in the History of Life) ، تُـــهلك فيها كثير من الكائنات **هلاكاً جماعياً (Mass Extinction)** . ربما يرجع الـــهلاك الجمـــاعي للحياة إلى أسباب فيزيائية وأخرى حياتية. وفترات الهلاك هذه ربما قد ســـاهمت فـــي تهيئـــة مسرح الحياة لإستقبال كائنات قُدِرَ لها أن تلعب دور البطولة على مسرح التـــاريخ الأرضـــي. والخلاصة أن الأيام تتداول بين كائنات كانت تعيش على هامش الحياة وأخـــرى كـــانت مـــلء السمع والبصر ، وكانت أشد قوةً وأثاراً، أو حتى كائنات كان يتم إستبدالها بأخرى تشـــبهها ، أو أخرى ليست مثلها. وصدق الله العظيم وهو يخاطبنا عن قدرته المطلقة على إستبدال أقوامٍ مـــن البشر بأقوام آخرين.

خلـق جديـد

فيما يلي نورد أمثلة لأزمنة خلق جديد من واقع سجل الحياة القديمة عبر الزمن الأرضـــي مرتبة وفقاً لأقدمية ظهورها (جدول ٣٤) .وتجدر الإشارة إلى أن الكائنات الـــواردة بـــالجدول تمثل فقط هيكلاً عاماً لتتابع الحياة أما التفاصيل الدقيقة فشئ مذهل. فهل يدعونا ذلك إلـــى أن نسلم بقدرية الخلق.



سورة القمر

جدول (٣٤) مقياس الزمن الأرضي وظهور الخلائق وأهم معـــالم الحيـــاة (الأعمـــار مقـــدرة بملايـــين السـنين).

(From Montgomery, 1993, P. 164, Table 8.2).

	ا لزمان (Eon)	العقب (Era)	العصر (Period)	العهد (Epoch)	زمن الحد الفاصل	خلق متجدد ومعالم الحياة
			الرابعي	الهولوسين	١ر٠*	الإنسان العصري
				البليستوسين	١ر٦	الإنسان الحجري
				البليوسين	٥ر٣	
		الحياة الحديثة		الميوسين	٢٤ر٠	إزدهار النباتات المزهرة
			الثالثي	الأوليجوسين	٣٦ر٦	أسلاف القردة
				الإيوسين	٥٧ر٨	أسلاف الأحصنة، الأنعام
				الباليوسين	٦٦ر٤	
	الحياة		الطباشيري		١٤٤ر٠	ظهور النباتات المزهرة وهلاك الدينصور.
	الظاهرة	الحياة المتوسطة	الجوراسي		٢٠٨ر٠	ظهور الطيور وازدياد الثدييات
			الترياسي		٢٤٥ر٠	الدينصور ، والمرجان الحديث، وأول الثدييات.
			البرمي		٢٨٦ر٠	صعود نجم الزواحف والبرمائيات.
			الكربوني		٣٦٠	غابات الفحم، أول الزواحف، الحشرات ذوات الأجنحة.
		الحياة القديمة	الديفوني		٤٠٨	أول البرمائيات، والأشجار ، والحشرات، وسيادة الأسماك.
			السيلوري		٤٣٨	أول النباتات البرية وشعاب المرجان.
			الأوردوفيشي		٥٠٥	أول الأسماك.
			الكمبري		٥٧٠	إزدهار الحياة وانتشار الأحافير، أوائل الفقاريات.
		الحديث			٩٠٠	
	طلائع الأحياء	المتوسط			١٦٠٠ر	أوائل الكائنات ذات الأصداف، الديدان، والإسفنجيات، والمرجان.
الحياة		القديم			٢٥٠٠ر	
الخفية		الحديث			٣٠٠٠	الطحالب وكائنات البروكاريوتا
	السحيق	المتوسط			٣٤٠٠	
		القديم			٣٨٠٠	

* يوضح زمن حد الهولوسين في أغلب المراجع عنـــد ٠١ر٠ مليـــون ســـنة.

الكـوارث أحـداث عارضـة

أشرنا من قبل إلى اسهامات الأولين في مجال علوم الأرض بصفة عامة ، وتـاريخ الأرض بصفة خاصة ، وقد أشرنا إلى أنه كان هناك صراع محتدم بَيْن مَنْ آمنوا بأنَّ الكوارث تمثـــل محوراً رئيساً في تاريخ الأرض ومَنْ إعتقدوا أنَّ تأثير الكوارث محدود بالمســتوى المحلــي ، حتى أنَّ شارلز ليل (Charles Lyell) كان يعتقد أنَّ الظواهر الأرضية ما هي إلا نتاج تــأثيرات متراكمة خطوة وراء خطوة ، وأن هذه التغيرات ليست هدمية دائماً.

على كل حال فنحن نعتقد أن الصورة ليست بسيطة فالعلاقة بين الإزدهـــار فـــي الحيـــاة والهلاك والفناء علاقة معقدة ، وإن كنا نميل إلى الإعتقاد بأنّ هناك نواميس عامة تسير وفقـــها الظواهر الطبيعية ، ولكن خرق أو توقف هذه النواميس شئ وارد في الحسبان.

إزدهار وتنـــوع الكائنـــات

نذكر من فترات إزدهار الكائنات عبر التاريخ الأرضـــي (شـــكل ١٤٤) الآتـــي:

١ – التطور السريع للطحـــالب الخضـــراء المزرقـــة (Cyanobacteria or "Blue Green" Algae) في زمان طلائع الأحيـــاء القديمـــة.

٢ – ظهور اللافقاريات في حقب الحيـــاة القديمـــة.

٣ – إشعاعة اللافقاريات في حقب الحيـــاة القديمـــة.

٤ – ظهور البرمائيات وسيادة الأسماك فـــي الديفونـــي.

٥ – إشعاعة الزواحف وإزدهار الدناصير في حقـــب الحيـــاة المتوســـطة.

٦ – تنوع النباتات المزهرة في حقب الحيـــاة المتوســـطة المتـــأخر.

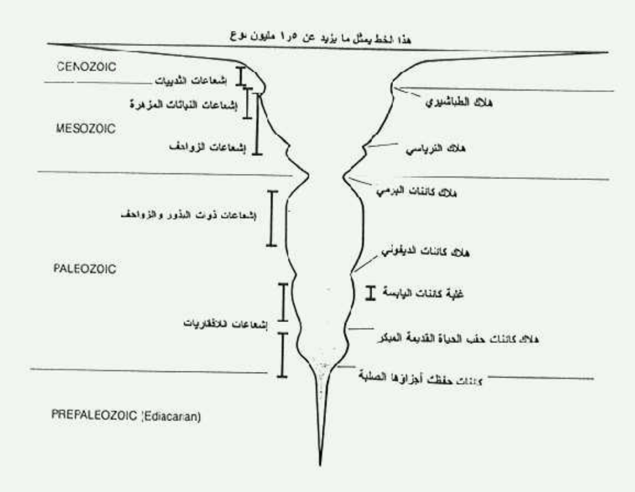
٧ – تنوع الثدييات في حقب الحيـــاة الحديثـــة.

وعلى سبيل المثال فقد سُجلت ثلاث أنماط من التنوع في اللافقريات البحرية في أثناء زمان الحياة الظاهرة (شكل ١٤٥):

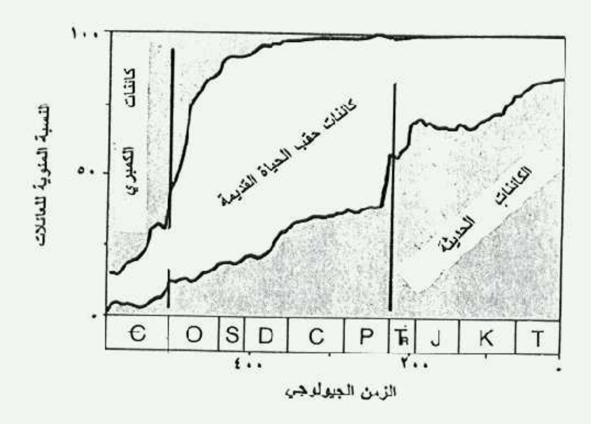
١ – كائنات حقب الحياة القديمة (Paleozoic Fauna) : وتتمثل بالمســـرجيات المتمفصلـــة (Articulate Brachiopods) ، وشوكيات الجلد ذوات السيقان (Stem-Crinoids) مثـــل زنـــابق البحـــر (Crinoids) والبرعميـــات (Blastoids) والكيســـيات (Cystoids) ، والمرجان (Corals)، والرأسقدميات (Cephalopods) ، والخطيات (Graptolites).

٢ – كائنات الكمبري (Cambrian Fauna) : وتمثلها ثلاثيات الفصوص والمسرجيات غـــير المتمفصلـــة (Inarticulate Brachiopods) و الأركيوســـياثيدز (Archeocyathids) وشوكيات الجلد البدائية (Primitive Echinoderms).

٣ – الكائنات الحديثة.



شكل (١٤٤) نموذج تنوع الكائنات مشيداً على أساس سجل الأحافير والكائنات العصرية ، حيث يُظـــهر النموذج الأحداث الهامة والزيادة الهائلة في الكائنات خلال أبد الحياة الظاهرة.
(From Cooper *et al*., 1990, P. 128, Fig. 4-21).

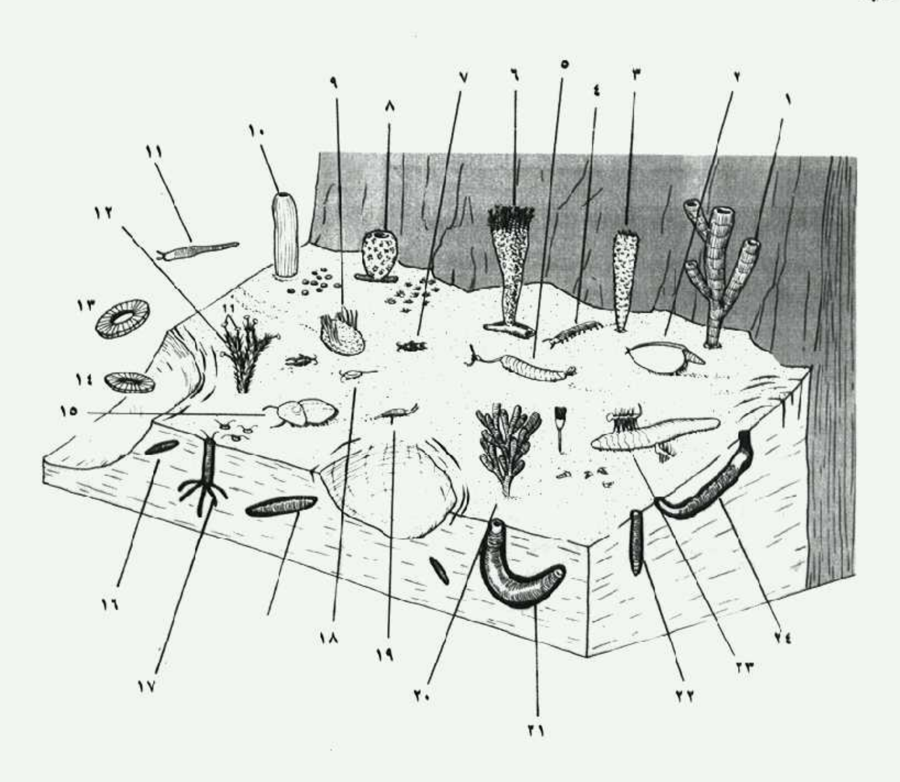


شكل (١٤٥) تغيرات في تركيب اللافقاريات البحرية خلال زمان الحياة الظاهرة.
(Modified from Cooper *et al*., 1990, P. 121, Fig. 4-13).

١ –إزدهـــار الخـلائق في الكمبري (Cambrian Faunal Radiation) :

تعد فترة الكمبري ومعها فترة الأدياكاري مرحلة رائعة من مراحل الخلق لســـببين رئيســـيين، أولـهما التنو ع الرهيب في اللافقاريات وثراء الأنماط التشريحية للكائنات، وثانيهما أن تلك الحقبة مـــن الزمن تمثل الفترة الإنتقالية من عالم الحياة الخفية الغامضة المستترة إلى عالم الحياة الظاهرة المشهودة.

وكل من زمان طلائع الأحياء والعصر الكمبري يمثل مرحلة التنوع السريع في أنمـــاط الحيـــاة اللافقارية. فأحافير طفلة بورجس (Burgess Shale Fauna) (شكل ١٤٦) تمتلك ما يربـــو علـــى عشرين نمطاً تشريحياً لا يعرف لأي المجموعات الحيوانية تنتمي، وهذا يعكس في حد ذاته خلقـــاً فريداً لم يعرف له مـــــــثيل من قبلوهو يمثل تجريب مرحلة واحدة من مراحل الإعجاز. فمع نهاية الكمبري تأكد وجود جميع قبائل اللافقاريات، وظهرت عدة أنماط يتراوح عددها من ١٥ إلـــى ٢٠ نمطاً جديداً يعجز المشتغلون بعلوم تصنيف الكائنات عن وضع بعضـــها ضمـــن التقسـيمات المعتمـــدة حالياً.



١	فاوكسيا *Vauxia*	٧	ماريللا *Marella*	١٣	بيتويا *Peytoia*	١٩	
٢	كنداسبس *Canadaspis*	٨	ايفيليا *Effelia*	١٤	لاحشيات (لاحشيات)	٢٠	هيوليثس *Hyolitheh* (رخويات)
٣	كانسيلوريا *Cancelloria*	٩	وواكسيا *Wiwaxia*	١٥	انهيار قديم **old slump**	٢١	أنويا (*Ottoia*) كائنات حفارة (ديدان)
٤	أيشيا *Aysheaia*	١٠	ماسكنزيا *Mackenzia*	١٦	بيرونوكيتا *Peronoochaeta*	٢٢	سلكيركيا (*selkirkia*)
٥	أوبابنيا *Opabinia*	١١	بيكايا *Pikaia*	١٧	بورجيسكيا *Burgessoche*	٢٣	هالوسيجينيا (*Hallucigenia*)
٦	إكماتوكرينس *Echmatocrinus*	١٢	بيرانيا (الأسفنج) *Pirania*	١٨	أنكالوجون *Ancalogon*	٢٤	لوفيلا (*Lovisella*)

شكل (١٤٦) إعادة تصور كائنات طَفْلة بورجس التي كانت تسكن القاع المكون من السِـــحنة الطينيـــة المترسبة عند قاعدة الشِّعاب الطحلبية التي بلغ علوها مائة متر وكانت قمتها قريبة من مستوى سطح البحر.

(Modified from Conway Morris, 1979, P. 72).

وتتميز مراحل الخلق في زمان الأدياكاري وعصر الكمبري بالمعالم التالية :

١ – ظهور كائنات الأدياكارا الطرية الجسد والتي يعتقد أنها تمثل ديدان وقشريات وشوكيات جلد بدائية، ويثار الجدل حول وضعها في نهاية زمان الحياة الخفية أو في بداية زمان الحياة الظاهرة.

٢ – ظهور كائنات تحتوي على نوع من الهيكل الصلْب.

٣ – ظهور كائنات صغيرة ذات أصداف (Small Shelly Living Beings) يرجع عمرها إلى ٥٧٠ مليون سنة مضت وقد كانت متواجدة بأعداد قليلة من الأنواع، وتوجد من ضمنها البروثرتزينا (*Prothertzina*) التي تشبه السِّن والتي من الممكن أن تعكس وجود كائن لاحم (يتغذى على اللحوم).

٤ – ظهوركائنات دقيقة في طبقات مرحلة التوموتيان (Tommotian Stage) وهي كائنات في معظمها صغيرة جداً لا يتعدى حجمها عدة ملليمترات.

٥ – ظهور كائنات لها هيكل صلب كان مكوناً أولاً من مادة فوسفاتية ثم من مادة جيرية بعد ذلك.

٦ – وجود مجموعة رائعة من الكائنات المحفوظة حفظاً ممتازاً حتى أن أجزاءها الرخوة واضحة وقد دفنت الكائنات في ظروف غير عادية وهي أحافير طَفْلة بورجس التي سبق الحديث عنها، وهي تعد من أروع إكشافات الأحافير في القرن العشرين وعثر عليها لأول مرة في جبل وابتيا (Mount Waptia) في كولومبيا البريطانية. وعرفت مثيلاتها في صحبة أحافير شنجيانج (The Chengjiang Assemblage) في الصين وفي غيرها من الأماكن في العالم.

٧ – تأكد وجود جميع القبائل الحيوانية مؤكدة في وجودها بنهاية الكمبري.

٣ -إزدهار الأسماك (Radiation of Fishes) :

بالرغم منْ أنَّ الأسماك ظهرت لأول مرة في نهاية الكمبري وتأكد وجودها في الأوردوفيشي وأصبحت حقيقة في السيلوري إلا أنَّ عصر الديفوني قد سمي "عصر سيادة الأسماك" حيث وجدت خمس طوائف من الأسماك وهي :

١ – الأسماك عديمة الفكوك (Agnatha) : عديمة الفكوك وهي ممثلة اليوم بنوع واحد يعيش متطفلاً.

٢ - الأسماك المدرعة ذات الفكوك (Acanthodii) : وهي أسماك إنقرضت في حقب الحياة القديمة.

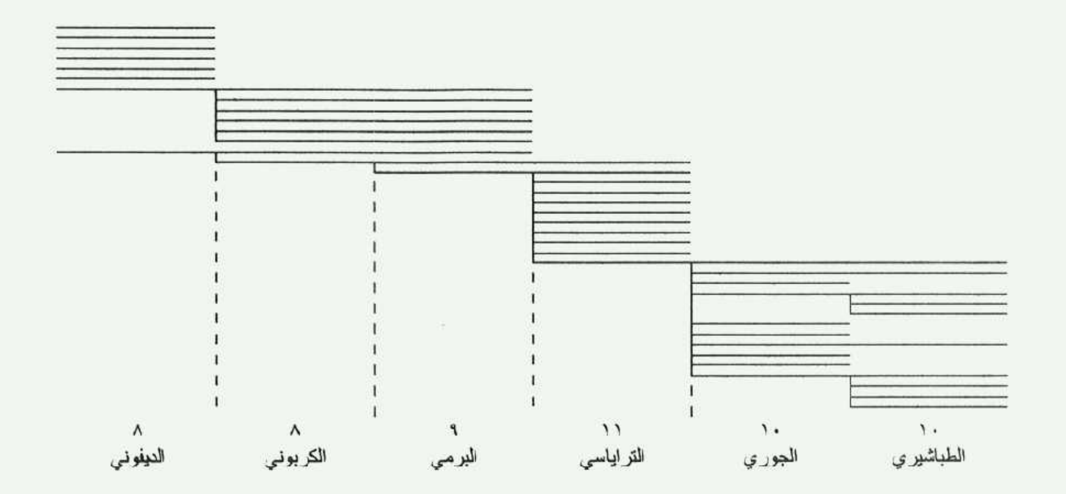
٣ - البلاكودرمي (Placodermi) : وهي أسماك مدرعة ذات فكوك إنقرضت في حقب الحياة القديمة.

٤ - الأسماك الغضروفية (Chondrichthyes) : وتشمل القروش الحقيقية والورنك والأشعة (Rayes).

٥ - الأسماك العظمية (Osteichthyes).

الحياة والموت

بعد إستعراضنا لمثالين من أمثلة إزدهار الكائنات ، نسوق مثالاً يدل على تعاقب الحياة والموت في مجموعة من الكائنات المنقرضة ، وهي مجموعة الأمونيتات (Ammonites) (شكل ١٤٧) التي ظهرت لأول مرة في عصر الديفوني ، وهلكت عن بكرة أبيها بنهاية عصر الطباشيري ، حيث نتتبع ظهور فوق عائلات الأمونيتات في العصور الأرضية (Geologic period) من الديفوني حتى الطباشيري (جدول ٣٥).



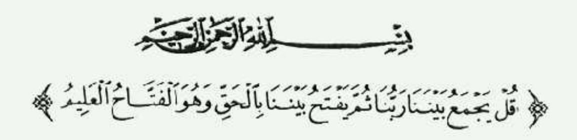
شكل (١٤٧) الحياة والموت في عدد فوق عائلات الأمونيئيدات (رخويات بائدة). للتبسيط تُمثل العصور الأرضية كأنها متساوية في العمر مع إفتراض أن فوق العائلات قد تواجدت أحافيرها خلال العصر الأرضي كله.

(From Simpson,G.G, 1983, P.146)

جدول (٣٥) الأحياء والإماتة في مجموعات الأمونيتات في أبد الحياة الظـــاهرة. (مُســـتنتج مـــن الرســـم السـابق).

العصر / عدد فوق العائلات	الديفوني	الكربوني	البرمي	الترياسي	الجوري	الطباشيري
المتواجدة أثناء العصر	٨	٨	٩	١١	١٠	١٠
المستمرة بعد نهاية العصر	٢	٨	٢	١	٥	–
المنقرضة في أثناء العصر	٦	–	٧	١٠	٥	١٠
الجديدة في العصر	٨	٦	١	٩	٩	٥

هذا وقد دأبت غالبية المراجع العلمية ، إن لم تكن كلـــها، أن تتصـــدر موضـــوع هـــلاك وإزدهار الكائنات من وجهة نظر التطور العضوي حيث تغرق القارئ بآراء وفروض النظريـــة الداروينية ونماذج التطور ما بين الإنتقال المتدرج بين الأنـــواع (Gradualism) ، أوحـــدوث التطور في فترات سريعة بعد فترة من الاتزان (Punctuated Equilibrium). ونحن نـــرى أن كل هذه النماذج عاجزة عن إعطاء تفسير مُقنع لتجدد الخلق. فلم يثبت حتى الآن تحـــول نـــوع إلى نوع آخر في الكائنات الحية ، ولم يثبت أيضاً وجود حلقات إنتقالية في السِّجل الصخـــري بين أنواع الأحافير المختلفة. ولما كنا نعتقد حقاً أن كل الأشياء مخلوقة بقـــدر فســـوف نريـــح أنفسنا من الولوج في هذا المعترك الصعب ونترك لغيرنا أن يقولوا ما يشـــاؤن. ونشـــد علـــى أيدي من تثبت أبحاثهم أو نظرياتهم أن الله هو الذي يحي ويميت أما مـــن يفرحـــون ويـــهللون لنظريات عن الخلق بلا دليل ولا سنـــد علمي دقيـــق فأمـــرهـــم موكـــول إلى الله.



سورة سبأ-الآية :٢٦

أسباب هلاك الكائنات:

تعددت الأسباب والموت واحد. وكل شئ هالك إلا وجه الله، ولكن أمام ظاهرة الهلاك الجماعي أفترضت عدة أسباب لحدوث هذه الظاهرة يمكن وضعها في مجموعتين :

١- أسباب فيزيائية تضم الثورانات البركانية، والحركات التجبلية، والتغيرات المناخية، وتغيرات الغلاف الجوي، ومحتوى العناصر النادرة في المحيط، والأشعة الكونية، والألواح الحركية، وغيرَها (جدول ٣٦).

٢- وأسباب حياتية تتعلق بالسلسلة الغذائية وصراع الكائنات من أجل البقاء. وفي الآونة الأخيرة يثار الجدل بين فريقين متعارضين حول أسباب هلاك الكائنات ، فريق يرجع الهلاك الجماعي إلى أحداث عارضة من خارج نطاق الأرض (Extraterrestrial Events) وفريق يرى أن الهلاك حدث تدريجيا نتيجة لظروف طبيعية عادية. ومن بين الأسباب الفيزيائية يأتي فعل الألواح البنائية كسبب أساسي لهلاك الكائنات. ولتجذب الأنظار لعلها تلعب دورا في هلاك الكائنات. والخلاصة أن جميع الأسباب المفترضة غير صالحة للتجريب ولا نستطيع الحكم على صحتها أو خطئها.

الألواح البنائية وهلاك الكائنات (Plate Tectonics and Mass Extinction):

علمنا من قبل أن القشرة الأرضية تتكون من عدد من القطع(Pieces) أو الألواح (Plates) وأن هذه القطع في حركة دائمة من التقارب والتباعد والإنزلاق. وهذه الألواح وزحزحة القارات تسبب كلا من النشاط البركاني والهزات الأرضية وتكوين ورفع أحزمة الجبال، ويؤدي ذلك بالتالي إلى تغير في مستوى سطح البحر وفي مواقع القارات بالنسبة للأحزمة المناخية، كما يؤدي إلى فتح وغلق المحيطات، وما لذلك كله من تأثيرات بيئية تنعكس على حياة الكائنات، فعلى سبيل المثال يؤدي تجمع القارات إلى قلة الأجسام المائية ، الأمر الذي يقلل من البيئات البحرية الضحلة ، حيث تنقص الأرصفة البحرية وبالتالي يقل التنوع في الكائنات. ففي حالة قارة البانجيا التي كونت أكبر تجمع لليابسة في الفترة من نهاية العصر البرمي إلى نهاية العصر الترایاسي قد نتج عنها تأثيرات ثلاث هي :

١ - رفع سطح الأرض وإنحسار بحار حقب الحياة القديمة الضحلة.

٢ - نقص مساحات الرصيف القاري الذي كان يحيط بالقارات.

٣ - تغيرات حادة في المناخ بسبب تجمع القارات.

ومن المعتقد أن أحداث الألواح البنائية سببت تغيرات في أنماط توزيع الكائنات (جدول ٣٧) وهذه الأنماط هي:

١ - نمط التقارب (Convergence) حيث يزداد التشابه بين كائنات الأقاليم المختلفة ويحدث ذلك في مثل حالات غلق المحيطات.

٢ – نمط التباعد (Divergence) حيث تقل درجة التقارب بين كائنات الأقاليم المتباعدة عن بعضها البعض مع مرور الزمن كما في مثل حالات فتح المحيطات.

٣ – نمطا التقارب بين الكائنات الموجودة على اليابسة، والتباعد بين الكائنات البحرية، ويحدث ذلك في حالة تواجد معابر قارية وسط البحار تؤدي إلى اتصال الكائنات البرية وفي نفس الوقت تؤدي إلى عزل الكائنات البحرية وتشتيتها.

جدول (٣٦) الأسباب المفترضة لهلاك الكائنات الجماعي.
(Based on Hallam, 1981 and Cooper *et al.*, 1990).

١– المغناطيسية المعكوسة والأشعة الكونية :	يفترض أن المجال المغناطيسي للأرض يضعف في أثناء إنعكاس القطبية المغناطيسية ،ويؤدي ذلك إلي زيادة في كميات الأشعة الكونية التي تصل إلى الأرض مما يسبب هلاكاً جماعياً للكائنات ولكن الشواهد المؤيدة لهذا الفرض مازال مفتقدة.
٢– تغيرات المناخ والغلاف الهوائي :	يعتقد أن التغيرات المناخية لعبت دوراً كبيراً في الهلاك الجماعي للكائنات مثل الدناصير وبعض المُنْخَرَبات وهذه التغيرات قد تكون حدثت بفعل الحركات التجبلية، الهجرة الظاهرية للأقطاب أو بعوامل أخرى. ومن النظريات المفسرة لتغير المناخ دخول الأجسام الكونية مثل النيازك إلى سطح الأرض أو احتراقها في غلاف الجو مثل الشهب التي تثير سحب الغبار فتحجب أشعة الشمس عن الأرض.
٣– تغير ملوحة المحيطات :	حيث يؤدي تكوين المتبخرات إلى نقص ملوحة المحيطات عن معدلها العادي، ويفترض حدوث ذلك في بعض الأزمنة الأرضية كما حدث في نهاية البرمي.
٤– تسمم المحيطات :	حيث يعكس وجود الطفلة السوداء بكثرة في رواسب عصر الديفوني والجوري وغيرهما فترات إختزال، والتي من المفترض أنها أدت إلى إختزال طبيعة المساحات البحرية للكائنات وأيضاً حدوث تغيرات في كميات العناصر النادرة.
٥– تغيرات مستوى سطح البحر :	حيث تقلصت البحار القارية نتيجة للفترات التي تراجع فيها البحر مما تسبب في الصراع القاسي من أجل الحصول على الغذاء، وأدى أيضاً تقدم البحار إلى ظهور خلق منطور يلائم هذا الغزو البحري الذي أعقب مراحل التراجع البحري. وفي حالات عدة أدى الإرتفاع والإنخفاض في مستوى سطح البحر إلى حدوث فترات جليدية وأخرى بين جليدية.
٦– التغير في التضاريس الأرضية :	يرجع البعض هلاك بعض الكائنات كالدناصير مثلاً إلى قلة التنوع في تضاريس الأرض حيث تُزال الجبال والمرتفعات التي تؤدي إلى غزو البحار للقارات.
٧– ثورات البراكين على مستوى عالمي :	للبراكين تأثير مباشر في هلاك الكائنات نظراً لدورها في تغيير الظروف المناخية.
٨– حركة الألواح البنائية :	تؤدي حركة الألواح البنائية المتباعدة والمتقاربة إلى حدوث تغيرات طبيعية في البيئة.
٩– إضطراب السلسلة الغذائية وصراع الأنواع من أجل البقاء :	يحدث خلل في السلسلة الغذائية بين العوالق النباتية والعوالق الحيوانية وآكلات اللحوم وآكلات العشب وبالتالي يحدث الخلل بين المنتج (Producer) والمستهلك (Consumer).

جدول (٣٧) تأثير أحداث الألواح البنائية على أنماط توزيـــع الكائنـــات.

(Modified from: A. Hallam W. H. Facies Interpretation And The Stratigraphic Record, Freeman And Company, Table 102, P. 237, © 1981.)

الحدث اللوحبنائي	التقارب	التباعد
غلق المحيط الأطلسي خلال العصرين الأوردوفيشي والسيلوري.	ثلاثيات الفصوص، الخطيات، المرجان، المسرجيات، شبيهات الأسنان، أباسبيدس والثيلودونت على جانبي الأطلسي القديم.	
غلق ممر الأورال البحري	فقاريات البر لما بعد البرمي في إيوراسيا.	
فتح المحيط الأطلسي		– محارات الطباشيري وقاعيات المُنْخَرِبَات في الكاريبي والبحر المتوسط. – أمونيتيدات الطباشيري المتأخر في كل من الولايات المتحدة الأمريكية وغرب أوروبا وشمال أفريقيا. – ثدييات نهايات الإيوسين المبكر في كل من أمريكا الشمالية وأوروبا. – ثدييات العصر الثالث في كل من أفريقيا وأمريكا الجنوبية.
فتح المحيط الهندي خلال العصر الطباشيري.	محارات أرصفة شرق أفريقيا والهند.	
غلق بحر التيثس (الطباشيري المتأخر – الثالثي المتوسط)	أمونيتيدات كل من إيوراسيا والمنطقة العربية–الأفريقية، ثدييات كل من إيوراسيا وأفريقيا.	رخويات ومُنْخَرِبَات كل من المحيط الهندي ومنطقة البحر المتوسط – والمحيط الأطلسي، وغير ذلك من بقايا الحياة.

الانقراض الكلي (الجماعي) للكائنات (Mass Extinction) :

تعريف : يمثل الإنقراض إختفاء الكائنات عن طريق موت كل أفراد أنواعها أو إندثار الأجناس أو العائلات أو ما فوق ذلك من التقسيمات العليا للكائنات بحيث لا ترى لهم من باقية. ويدخل ضمن الإنقراض أيضا إضمحلال الكائنات بمعدلات عالية. وبناء على ذلك نجد الكائنات إزاء الموت مجموعات ثلاث : الأولى بائدة فانية تستمر لفترة ما ثم تختفي تماما، والثانية مضمحلة قد عانت من قسوة الهلاك والأخيرة مستمرة لفترة طويلة. ويمكن أن تضم نظريات الهلاك الجماعي في ثلاثة مجموعات هي :

١ - الهلاك بالكوارث (Catastrophic Extinction).

٢ - الهلاك التدريجي (Gradual Extinction).

٣ - والهلاك المرحلي (Stepwise Extinction).

مدى أعمار الكائنات:

قد يستغرق النوع الواحد من أنواع الكائنات الحية زمنا يقاس بملايين السنين منذ أول ظهوره (First Appearance) حتى إنقراض آخر سلالة له (Complete Extinction) (جدول ٣٨)، بينما تحيا بعض الأنواع لمئات الآلاف من السنين فقط. وكثير من الأنواع قد يعتريها التغير إلا أنه لم يثبت دليل واحد على تحول نوع من أنواع الكائنات الحية إلى نوع آخر، ولم تسجل حالة واحدة لهذا التحول في السجل الأحفوري الذي يؤكد على أن إختلافات الأنواع تحدث باضطراد في إتجاه واحد (Unidirectional) وليست إنعكاسية، بمعنى أن الأنواع المنقرضة مثل ثلاثيات الفصوص وغيرها لا تعود مرة أخرى. وتسجل الأنواع أول ظهورها وتستمر هي وسلالاتها إلى ما شاء الله ثم يأتيها الأمر فتنقرض ويكون هذا آخر عهد بها من الدنيا، ويختلف المدى الزمني لمجوعات الأحافير المختلفة وكذلك أهميتها من الناحية الطباقية . وتتراوح فترة حياة الأنواع من أقل من مليون سنة إلى ٣٠ مليون سنة. وفيما يلي جدول بمتوسط أعمار بعض أنواع مجموعات الأحافير :

جدول (٣٨) مدى أعمار بعض مجموعات الأحافير.

[From Stanley, 1985(in Boggs, 1995,P.600,Table, 17.3]

مجموعــة الأحافير	متوسط فــترة دوام الأنواع (مليون سنة)
المشطورات البحرية((Marine Diatoms)	٢٥
المُنخَرِبَات القاعية (Benthonic Foraminifera)	٢٠ – ٣٠
المُنخَرِبَات العالقة (Planktonic Foraminifera)	< ٢٠
الـــــبروفـــــيتس (Bryophytes)	< ٢٠
المحاريات البحرية (Marine Pelecypods)	١١ – ١٤
البطنقدميات البحرية (Marine Gastropods)	١٠ – ١٤
النبــــــاتات العلــــــــيا (Higher Plants)	٨ –< ٢٠
الأمــــــــــــــونيت (Ammonites)	≅ ٥ ومدى ١–٢ مليون سنة
أسماك المياه العذبة (Fresh Water Fishes)	٣
الخطــــــــيات (Graptolites)	٢ – ٣
الخـــــــنافس (Beetles)	< ٢
الثعــــــابين(Snakes)	< ٢
الثدييـــــــات (Mammals)	١ – ٢
ثلاثيات الفصوص (Trilobites)	< ١

أحـــداث إنقـــراض الكائنـــات

شهد الزمن الأرضي (Geologic Time) نكسات للحياة في أزمنة محددة بادت فيها كائنات واضمحلت أخرى وهذه الفترات هي :

١– نهاية العصر الكمبري. ٢– نهاية العصر الأوردوفيشي.

٣– الديفوني المتأخر. ٤– البرمي المتأخر.

٥– الترايـاسي المتأخر. ٦– الطباشيري المتأخر.

والجدول التالي يوضح أهم أحداث الإنقراض في أثناء زمان الحياة الظاهرة :

حدول (٣٩) معالم نكسات الحياة لكائنات بادت تماماً وأخرى إضمحلت بقسوة. (وتمثل الأرقام النسبة المئوية لانقراض العائلات).

(Modified from Hallam, 1981 : Facies Interpretation And The Stratigraphic Record. P. 237, Table 102).

حدث الإنقراض	كائنات بادت	كائنات إضمحلت بقسوة	
نهاية الطباشيري (Late Cretaceous)	أمونيتات (Ammonites) محاريات الرودستيد (Rudistid Molluscs) الزواحف البحرية الكبيرة (Large Marine Reptiles) الدناصير (Dinosaurs)	البلمينيتيدز (Belemnitids) المرجان (Corals) الحزازيات (Bryozoa) قنافذ البحر (Echinoids) الإسفنجيات (Sponges) المُنْخَرَبات الهائمة (Planktonic Foraminifera)	٢٦
نهاية الترياسي (Late Triassic)	شبيهة الأسنان (Conodonts)	المسرجيات (Brachiopoda) الأمونيتات (Ammonites) الأسماك (Fish) الزواحف (Reptiles)	٣٥
نهاية البرمي (Late Permian)	المرجان المجعد (Rugose Corals) ثلاثيات الفصوص (Trilobites) البرعميات (Blastoids) الكيسيات (Cystoids) مجموعات من زنابق البحر (Inadunate, Flexibiate and Camerate Crinoids) المسرجيات من البرودكتيدز (Productid Brachiopods) مُنْخَرَبات الفيوزلينيدز (Fusulinid Foraminifers)	الحزازيات (Bryozoa) الزواحف (Reptiles)	٥٠
نهاية الديفوني (Late Devonian) (الفاميني-الفراسني) (Famennian-Frasnian)		المرجان (Corals) ستروماتوبوريدز (Stromatoposoids) ثلاثيات الفصوص (Trilobites) الأمونيتات (Ammonites) الحزازيات(Bryozoa) المسرجيات (Brachiopoda) الأسماك (Fish)	٣٠
نهاية الأوردوفيشي (Late Ordovician)		ثلاثيات الفصوص (Trilobites) المسرجيات (Brachiopods) الزنابق البحرية (Crinoids) قنافذ البحر (Echinods)	٢٤
نهاية الكمبري (Late Cambrian)		ثلاثيات الفصوص (Trilobites) الإسفنجيات (Sponges) البطنقدميات (Gastropods)	٥٢

والجدول التالي (جدول ٤٠) يورد الأسباب المحتملة لنكسات حياة زمان طلائـــع الأحيـــاء وزمان الحياة الظاهرة :

جدول (٤٠) الأسباب المحتملة لأكبر نكسات الحياة .

(Donovan,1981. Table 0.1).

حدث الإنقراض	الأسباب المُفترَضة
نهاية البليستوسين (Late Pleistocene)	دفء ما بعد الفترات الجليدية بالإضافة إلى عمليات الصيد الجائر بواسطة الإنسان.
الإيوسين–الأوليجوسين (Eocene - Oligocene)	الهلاك على خطوات (Stepwise Extinction) بسبب الـــبرد القـــارس والتثلـــج والتغيرات المحيطية المصاحبة لنمو تيار القارة القطبية الجنوبية (Antarctica).
الطباشيري المتأخر (Late Cretaceous)	إصطدام جسم خارجي (Extraterrestrial Body) بالأرض محدثاً كارثـــة بيئيـــة وإضطراباً في السلسلة الغذائية.
الترایاسي المتأخر (Late Triassic)	ربما لزيادة هطول الأمطار وتراجع البحار.
البرمي المتأخر (Late Permian)	نتيجة لبرودة المناخ الذي صاحبه تراجع البحار على نطاق واســـع مـــع إختـــزال المساحات الدافئة والبحار الضحلة.
الديفوني المتأخر (Late Devonian)	البرودة على مستوى العالم (تسبب) تسمماً للبحار القارية على مستوى كبير.
الأوردوفيشي المتأخر (Late Ordovician)	نمو وذوبان الغطاء الجليدي لجندوانا أعقبه فترة ثبات بيئي مصحوباً بإرتفاع مستوى سطح البحر.
الكمبري المتأخر (Late Cambrian)	إختزال في البيئات ربما نتيجة الإستجابة لإرتفاع مستوى سطح البحر محدثاً إختزالاً في عدد مكونات تجمعات الكائنات.
نهاية زمان طلائع الأحياء (Late Proterozoic)	أسباب معقدة تضم تراجعاً كبيراً في مستوى سطح البحر، وضغطاً فيزيائيـــاً (دورة تيارات معزولة وفقر في الأكسجين) وضغطاً حياتياً (زيادة الإقتنـــاص – الهـــوام – العكارة بواسطة الكائنات (Bioturbation).

إنقراض الكائنات في نهاية العصر الأوردوفيشي :

تمثل ذلك بإنقراض حوالي ٥٠% من أنـــواع الأوردوفيشـــي، بالإضافـــة إلـــى تراجـــع في عضديات الأرجل والمرجان والحزازيـــات فـــي البحـــار القاريـــة. ولربمـــا أدى العـــهد الجليدي في نهاية الأوردوفيشي إلى إنخفـــاض مســـتوى ســـطح البحـــر الـــذي أدى بـــدوره

إلى تقلص البيئات البحرية. ولـــذا فـــإن التغـــيرات المناخيـــة ربمـــا كـــانت مـــن العوامـــل المسببة لهلاك الكائنات. أو ربما كانت هناك أسباب أخرى خافية عنـــا لا علـــم لنـــا بـــها.

هلاك الكائنات في نهاية العصر الديفوني:

قبل نهاية العصر الديفوني عانت الكائنات من الإنقراض الذي ظهرت معالمه فـــي إضمحلال بانيات الشِّعاب خاصة المرجان والاستروماتوبوريدز والحزازيات واضمحلت بقسوة ثلاثيات الفصوص والزنابق البحرية والرأسقدميات وأسماك المياه العذبة. وتقـــدر نسبة إنقراض أنواع المسرجيات بحوالي ٨٠%. وظهرت آثار الإنقراض بجلاء عنـــد الحد الفاصل بين الفراسني والفاميني.

أسباب إنقراض كائنات العصر الديفوني:

أ- **نظرية الإرتطام الكوني (Theory of Cosmic Impact)** : يعتقد البعض في ســـقوط نيزك كبير في المحيط نتج عنه موجة زلزالية بحرية (Tsunami) (مثل الموجات التي تعقـــب حدوث الزلازل). وهذه الموجة أدت إلى تقليب الرواسب إلى حدوث فيضانات طينيـــة غطـــت البحار القارية وأثرت تأثيراً كبيراً في هلاك الكائنات من بانيات الشعاب. وممـــا يؤيـــد هـــذا الحدث وجود تركيزات عالية لعنصر الإريديوم عند الحد الفـــاصل بيـــن صخـــور كـــل مـــن الفراسني والفاميني في أستراليا. وربما يعزى زيادة نسبة الإريديوم (Iridium) إلـــى حـــدوث إرتطام لنيزك بالأرض.

ب- **التغيرات المناخية** : خاصة برودة الجو الناتجة من زحف الجليد في الديفوني المتـــأخر (Late Devonian Glaciation) وتأثيره على الكائنات الإستوائية، وإن كان عدم تأثر النباتـــات الإستوائية، بدرجة كبيرة بالرغم من حساسيتها للتغيرات البيئية يقلـــل مـــن تـــأثير التغـــيرات المناخية على إنقراض الكائنات في نهاية الديفوني.

نكسة الحياة في نهاية العصر البرمي:

في الوقت الذي تتفق فيه الآراء على أن الحياة قد إنتكست في نهاية العصر الـــبرمي، فـــإن هناك إختلافاً في وجهات النظر حول أسباب هذه النكسة. وعلى الرغم من أن الـــبرمي يمثـــل أكثر فترات حقب الحياة القديمة هدوءاً إلا أن كارثة الحياة في نهايته تفوق في قســـوتها جميـــع النكسات في العصور الأرضية. إنعكس تأثير هذه المأساة على كـــل مـــن الكائنـــات البحريـــة والقارية ، فبنهاية البرمي إنقرضت عائلات اللافقاريات بنســـبة ٥٠% وعـــائلات البرمائيـــات بنسبة ٧٥% وعائلات الزواحف بنسبة ٨٠% ، وقدر معدل إنقراض العـــائلات فـــي الـــبرمي بأربع عشرة عائلة لكل مليون سنة، وهذا المعدل يعتبر أعلى من معدل الإنقـــراض الطبيعـــي

والمقدر بثمان عائلات لكل مليون سنة. وإزاء نكسة البرمي نجد أن هناك رأيـان، رأي يـرى أنه **لم تحدث كارثة فجائية** في الحياة في نهاية البرمي بل أخذت الكائنات **في الإضمحلال** من قبل في العصور السابقة، وأن نهاية البرمي لم تكن سوى **القشة التي قصمت ظـهر البعـير.** ورأي آخر يرى عكس ذلك تماما ويعتقد أصحابه في أن الإنقـراض الكبـير والإضمحـلال الخطير في الحياة الذي شهدته نهاية البرمي والذي **ليس له مثيل قد حدث فجأة.**

نهاية البرمي نكسة حقيقية للحياة:

في نهاية البرمي حدث إنقراض كبير للكائنات ظهر بجلاء بإنقراض المجموعات التالية:

١- ثلاثيات الفصوص.

٢- منخريات الفيوزيولينـات.

٣- ثمان عائلات من الأسـتراكودا.

٤ - مجموعة من الحزازيـات.

٥- خمس عائلات من أسماك القـرش.

٦- عديد من رتب المسـرجيات.

٧- رتب المرجان المجعد والمرجان الصفـائحي.

٨- رتبة كاملة من قنافذ البحـر.

٩- سبع فوق عائلات من الأمونيتـات.

١٠- كثير من زنابق البحر وكل الكيسيات والبرعميات.

١١- ثمان عائلات من الأسماك العظميـة.

والملاحظ أن الإنقراض حدث على مستوى العائلات مقارنة بـالإنقراض علـى مسـتوى الشعب والطوائف في نهاية العصر الكمبري ، ومع ذلـك فـإن حوالـي ٩٠% مـن أنـواع اللافقاريات قد إنقرضت بنهاية البرمي.

أسباب محتملة لنكسة الحياة في نهاية العصر البرمي:

بنهاية العصر البرمي شهد العالم توحدا قاريا كبيرا ممثلا فـي تجمـع القـارة العملاقـة المعروفة باسم بانجيا. وأدت عملية التقارب والتوحد القاري إلى تراجعات كبيرة للبحار القاريـة وتجدر الإشارة إلى أن النباتات لم تعان من قسوة الإنقراض بنفس الدرجة التي عـانت منـها الحيوانات، خاصة البحرية منها.

ولربما لعب التغير في الظروف البيئية المحيطات دورا كبيرا في هلاك الكائنـات، وهـذه التغيرات ربما شملت :

أ - التغير في كيميائية المحيط حيث إنتشرت المتبخرات.

ب - التغير في الصفات الفيزيائيـة وتتضمن عمق وشكل وحجم المحيطات حيـث تـم إختـزال عدد البيئات البحرية.

نكسة الحياة في نهاية العصر الطباشيري:

تمثل نهاية العصر الطباشيري نكسة تتمثل في عدد الأنواع المنقرضة وتأتي في المرتبة الثانية بعد نكسة نهاية العصر البرمي. وتشمل دراسة هذه النكسة عدة نقاط تتعلق بتحديد معالمها والتعرف على وجهات النظر المتضاربة حول أسبابها خاصة نظرية الإرتطام الكوني (Impact Theory) . وأخيراً معرفة طبيعة الحد الفاصل بين العصرين الطباشيري والثالثي (K/T). وسوف نتناول هذ الجوانب فيما يأتي :

معالم رئيسية لنهاية العصر الطباشيري:

١ - إنقراض عديد من مجموعات الأحياء كان من أهمها اندثار الزواحف العملاقة (الدناصير)، والزواحف الطائرة (Pterosaurs) والزواحف شبيهة الحيتان (Plesiosaurs) والزواحف شبيهة الأسماك (Ichthyosaurs)، وزواحف الموزاصورس (Mosasaurs)، والأمونيتات (Ammonites)، والرودستيدز (محاريات قارة) (Rudistids)، والبلمنيتات (Belemnitids)، وأجناس الإكزوجيرا (*Exogyra*) ، والجرافيا (*Graphyaea*)، والإينوسيراميدز (Inoceramids) ، وقد انقرضت كلها انقراضاً تاماً.

٢ - وضوح وتميز النطق المناخية لحد ما نتيجة إنفصال القارات وتأثير ذلك على أقاليم الكائنات (Faunal Provinces).

٣ - سيادة النباتات المزهرة وتأثير ذلك على ازدهار الثدييات في الحقب التالي، وإن كانت النباتات لم تتأثر بنفس الدرجة من الانقراض التي تأثرت بها الحيوانات.

٤ - إنقراض كثير من الحيوانات.

وهناك لا فقاريات عانت من قسوة الإنقراض (Decline) مثل المُنَخْرَبات العالقة (Planktonic Foraminifra) والكوكوليث (Coccolithophorids) وغيرها. وكان أفول نجم الزواحف في نهاية العصر الطباشيري مقدمة لسيادة الثدييات في أوائل حقب الحياة الحديثة.

أسباب نكسة الحياة في نهاية العصر الطباشيري:

هناك رأيان مختلفان حول أسباب هلاك الكائنات في نهاية العصر الطباشيري :

١- الرأي الأول ويرى أنه لا داعي للتهويل من أمر هذه النكسة حيث أنها تعود إلى أسباب حدثت نتيجة ظواهر طبيعية على سطح الأرض مثل :

أ - تراجع البحار القارية على مستوى العالم في نهاية العصر الطباشيري.

ب - نقص في ملاءمة الكائنات لأوساط المعيشة (Life Habitate) وتشتت آليات العزل الجيني.

جـ - ذوبان الجير في قاع المحيطات.

د - إستخلاف أو استبدال الثدييات بالدناصير.

هـ - النشاط البركاني في نهاية العصر الطباشيري.

و - الكائنات الهالكة قد أخذت في الإنحدار من قبل نهاية العصر الطباشيري. فالدناصير على سبيل المثال قد أُختُزل عددها إلى ٣٥ نوعاً منذ ٧٥ مليون سنة مضت، ثم إنخفض العدد إلى ٢٤ نوعاً منذ ٧٠ مليون سنة مضت، وأخيراً أختزل عددها إلى ستة أنواع في نهاية العصر الطباشيري. وكذلك الحال بالنسبة للأمونيتات التي سجلت إضمحلالاً تدريجياً وإنقرضت قبل نهاية الطباشيري بحوالي ١٠٠ر٠٠٠ سنة. وهذا يعني أن **حادث الإرتطام الكوني لم يكن السبب الرئيسي وراء هلاك الكائنات ولكنه كان القشة التي قصمت ظهر البعير.**

٢- الرأي الثاني : يرى أصحاب هذا الرأي أن هناك كارثة حقيقية ترجع إلى سبب كوني آتٍ من خارج نطاق الأرض (Extraterrestrial). ويرفع أصحابه نظرية الإرتطام الكوني (Impact Theory) التي ظهرت في عام ١٩٨٠م حينما إكتشف لويس الفريد وإبنه والتر نطاقاً يحوي عنصر الإريديوم (Iridium) بتركيزات عالية في الصخور عند الحد الفاصل بين العصرين الطباشيري والثالثي في طبقة الطين بالقرب من جيبو (Gubbio) حيث يوجد القطاع النموذجي لذلك الحد. وهذا التركيز للإيريديوم لا يوجد له مثيل في صخور القشرة الأرضية ولا يوجد تفسير منطقي له أكثر من الإرتطام الكوني الذي سبب هلاكاً للكائنات.

وقد أُتخذت زيادة نسبة الإريديوم إلى ٣٠ ضعف نسبة وجوده في صخور الأرض، ووجود كوارتز متحول مدعوم وبقايا السناج (طبقة فحم) عند الحد الفاصل بين الطباشيري والثالثي (K/T) أدلة لتأييد نظرية الإرتطام الكوني الذي في أثنائه ماتت غالبية الكائنات موتاً جماعياً ربما بالطرق الآتية :١- تسخين الغلاف الجوي بالوميض (Flash Heating) أثناء إحتكاك الأجسام الفضائية في الغلاف الجوي.

١ - تلوث المحيطات بالسيانيد المتولد عند الإصطدام.

٢ - برودة الجو نتيجة تولد الغبار مما أثر على عملية التمثيل الضوئي وما أعقبها من تأثيرات أدت إلى إضطراب في السلسلة الغذائية.

ويوضح (شكل ١٤٨) الحد الفاصل بين العصر الطباشيري والعصر الثالثي إستناداً على توزيع الأحافير النباتية ومحتوى الإيريديوم.

الملاحظة رقم (٥) :

يد القدرة وراء هلاك العمالقة

(الدناصير)

يصعب على الإنسان أن يتخيل هلاك الدناصير بنهاية العصر الطباشيري منذ ٦٥ مليون سنة عن بكرة أبيها بعد أن كانت ملء اليابسة والماء على السواء لمدة دامت ١٧٠ مليون سنة، وعاشت معها أيضا الزواحف البحرية والزواحف الطائرة، حتى سمي حقب الحياة المتوسطة باسم عصر الزواحف. وفي الواقع لم تهلك الدناصير بمفردها، بل هلك معها نصف أنواع الكائنات في مشهد موت كبير. وقد يكون هذا الهلاك قد حدث تدريجيا لأسباب لا يعلمها سوى خالقها وإن كان العلماء يرجعون هلاكها بسبب التغيرات المناخية. فهل أهلكت السماء الدناصير ؟ قد أجاب فريق من العلماء مكون من الأب لويس الفريد والإبن الجيولوجي والتر الفريد وعالمين آخرين على هذا السؤال، حيث وضعوا نظرية فحواها أن الدناصير قد هلكت بسبب إرتطام مذنب بالأرض. وقد أقيمت النظرية على أساس تواجد عنصر الإريديوم النادر بتركيزات شاذة تصل إلى ٣٠ ضعف تركيزه في صخور القشرة الأرضية. وقد عثر على هذا العنصر في طبقة رقيقة من الصلصال تفصل بين العصر الطباشيري (K) والعصر الثالثي (T) عند الحد الفاصل بينهما وهو حد (K/T). وحيث أن الإريديوم وافر في المذنبات، فإن العلماء يفترضون أن مصدره قد أتى في مشهد عظيم، حيث إرتطم مذنب يصل قطره إلى ١٠ كيلومترات بالأرض وتولدت من الضربة سحابة من الدخان لفت الكرة الأرضية وعزلتها لفترة كافية أحدثت إنقطاعا في السلسلة الغذائية، كما سبب برودة الأرض نتيجة لإنخفاض درجة الحرارة. وكان هذا هو السبب الرئيسي في هلاك الدناصير.

وعلى النقيض من ذلك ظهرت فرضية أخرى بديلة تفسر وجود الإريديوم الشاذ عند الحد (K/T) نتيجة لنشاط بركاني عنيف. وإستعر الخلاف بين مؤيدي نظرية النجم الضارب ومؤيدي نظرية النشاط البركاني. فأصحاب النظرية الأولى يرون في وجود الكوارتز المدعوم **(Shocked Quartz)** في طبقات الحد الفاصل **(K/T)**، بالإضافة إلى الموت السريع للكائنات البحرية ما يؤكد صحة نظريتهم. بينما يرى مؤيدو النظرية الثانية في تركيز العناصر النادرة في الطبقات عند الحد الفاصل **(K/T)** دليلا غير كاف لصحة ما يدعم نظرية الإرتطام الكوني .

إذن أين الدليل القوي على صحة الإصطدام الكوني؟. في عام ١٩٩٠ م إفترض العلماء وجود فوهة كبيرة قطرها ١٢٠ كلم في منطقة الكاريبي أمام ساحل شبه جزيرة يوكاتان **(Yucatan)** المكسيكية في مكان يسمى شكسلب **(Chicxulub)**، وقد دفنت الفوهة التي تكونت من جراء إصطدام جسم كبير **(Large Asteroid)** قطره ١٠ كلم. وإفترض مؤيدو وجود مثل هذه الفوهة أنها قد ملئت برواسب بفعل أمواج زلزالية بحرية كالجبال، وإفترضوا تكون كريات مجهرية من الزجاج أثناء الإرتطام تطايرت بشدة في الهواء. وعلى العكس من ذلك أكد المعارضون عدم حدوث ذلك على الإطلاق. وربما يدل وجود المدملكات في آبار الحفر أمام ساحل المكسيك على تكونها من جراء إرتطام المذنب بقاع البحر. مع التسليم بصحة أي من النظريتين أو كليهما معا، ألا ترى أنه من العجيب أن تهلك الكائنات العملاقة من الدناصير ولا تقوى على الصمود والمقاومة بينما تنجو من النكسة كائنات صغيرة في حجم الفئران؟ ألا تردد معي تلك الآيات من سورة يس :



﴿ إِنَّمَآ أَمۡرُهُۥٓ إِذَآ أَرَادَ شَيۡـًٔا أَن يَقُولَ لَهُۥ كُن فَيَكُونُ ٨٢ فَسُبۡحَٰنَ ٱلَّذِي بِيَدِهِۦ مَلَكُوتُ كُلِّ شَيۡءٖ وَإِلَيۡهِ تُرۡجَعُونَ ٨٣ ﴾

سورة يس

الملاحظة رقم (٦) :

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿ ظَهَرَ ٱلْفَسَادُ فِى ٱلْبَرِّ وَٱلْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِى ٱلنَّاسِ لِيُذِيقَهُم بَعْضَ ٱلَّذِى عَمِلُوا۟ لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ ﴿٤١﴾ ﴾

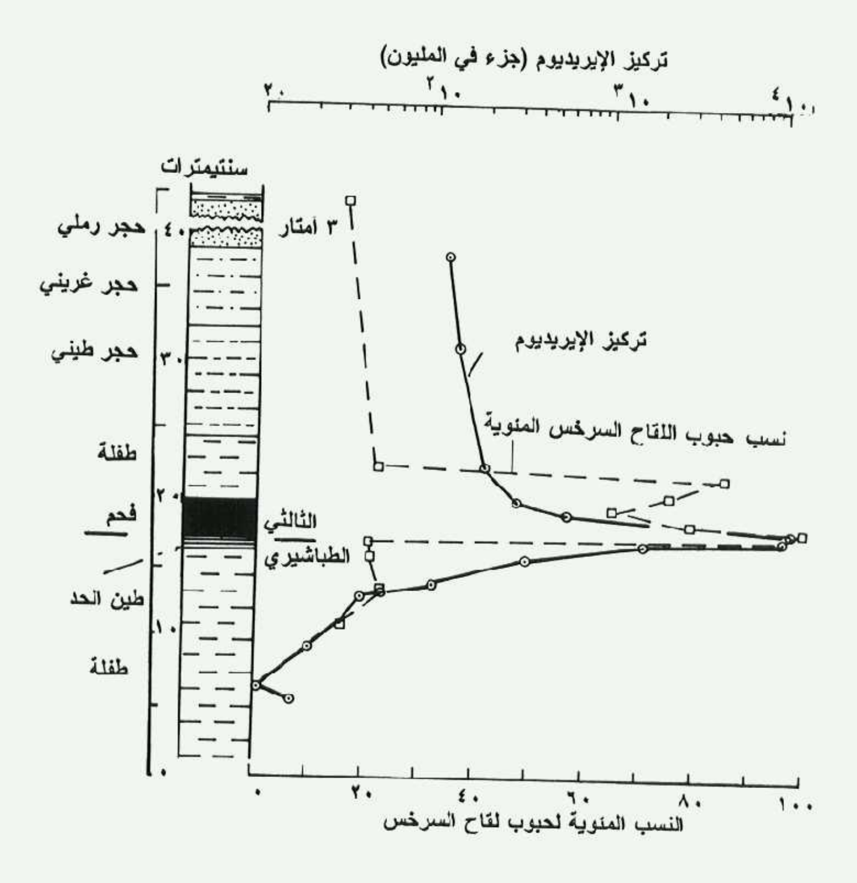
سورة الروم – الآية (٣١) .

الإنقراض الحالي في الكائنات

أكدت الدراسات الأحفورية أن معدل إستمرار ظهور الكائنات يفوق قليلا معدل الهلاك الجماعي، ويعني هذا أن أعداد الأنواع يزيد تدريجيا عبر الزمن الأرضي. ويشير الحصر المبدئي إلى وجود حوالي ٥ر١ مليون نوع من أنواع الكائنات الحية وإن كان العدد المتوقع يتراوح بين ٥ ، ٥٠ مليون نوع.

وقد لوحظ في خلال الـ ٥٠ – ١٠٠ سنة الماضية تزايد معدلات الإنقراض. وقد تراوح عدد الأنواع المعرضة للإنقراض في وقتنا الحاضر بين ٣٠٠ ، ٤٠٠ نوع من الثدييات وبين ٤٠٠ ، ٥٠٠ نوع من الطيور. هذا بالإضافة إلى غيرهم من النباتات والحيوانات الصغيرة. إن إستمرار هلاك الكائنات بنفس المعدل يعني أنه بمرور عام ٢٠٠٠م يهلك حوالي مليون نوع. وفي ضوء هذا يتوقع هلاك ١٠٠ نوع من الكائنات يوميا في خلال القرن الحادي والعشرين. إن معدل الهلاك هذا يفوق كثيرا معدل هلاك الكائنات منذ نهاية العصر الطباشيري.

ترى ما السبب الحقيقي لإرتفاع معدلات الهلاك الحالية ؟ يعتقد أن التقدم التقني الحالي هو المسول عن الهلاك الحالي. ويثار حاليا جدل شديد حول مدى تأثير هذا الهلاك على الحياة على كوكب الأرض، ما بين التفاؤل والتشاؤم. ونعتقد أن الأمل المعقود لاصلاح الأرض وتهيئة الجو المناسب لازدهار الكائنات يكمن في بعد الإنسان عن إفساد الأرض.



شكل (١٤٨) الحد الفاصل بين العصر الطباشيري والعصر الثالثي إستنادا على توزيع الأحافير النباتية ومحتوى الإيريديوم.

(From Lemon, 1993, P. 372, Fig. 18.24).

المصطلحات العلمية

إنجليزي – عربي

A

Abandonment	إلغاء
Abrupt Contact	حد فجائي
Absolute Time Scale	مقياس الزمن المطلق
Abyssal Plain	سهل البحر العميق
Actualism	مبدأ الواقعية
Aerial Photographs	صور جوية
Age	عمر
Age of Graptolites	عصر سيادة الخطيات
Algae	الطحالب
Alloformation	التكوين المحصور
Allogroup	المجموعة المحصورة
Allomember	العضو المحصور
Allostratigraphy	الطباقية المحصورة
Alluvial Mountains	جبال الرواسب النهرية
American Province	الإقليم الأمريكي
Amino Acid Racemization	التحول في تركيب الحمض الأميني
Analytical Uncertainties	شكوك في اتحاليل
Angular Unconformity	عدم توافق زاو
Annular Layers	الحلقات اليومية
Apparent Polar Wandering	الهجرة الظاهرية للقطب
Archean	الزمن السحيق أو الغابر
Archeology	علم الآثار
Archeological Stratigraphy	طباقية الآثار
Ash Layer	طبقة الرماد

Assemblage Zone	نطاق التجمع
Asthenosphere	نطاق المور أو النطاق الطيع
Atlantic Margin Basins	أحواض حافة المحيط الأطلسي
Aulacogene	الخسف المجهض

B

Back Reef	مؤخرة الشعاب
Base Level	مستوى القاعدة العام
Basin Analysis	التحليل الحوضي
Basin Mapping	ترسيم الأحواض
Bed	طبقة
Bedding Plane	مستوى تطبق
Belemnites	بلمنيئيدات
Benioff Zone	نطاق بنيوف
Big Bang	الانفجار العظيم (فتق الرتق)
Biochronology	علم التقويم الزمني بواسطة الأحافير
Biocorrelation	المضاهاة الحياتية
Biofacies	السحنة الحياتية
Biostratigraphy	الطباقية الحياتية
Boundary Stratotype	نموذج الحد
Brachiopods	المسرجيات
Bryozoa	الحزازيات
Burgess Shale	طفلة بورجس

C

Cambrian	عصر الكمبري
Cambro-Ordovician	الكمبرو-أوردوفيشي
Caledonian Orogeny	حركة التجبل الكاليدونية
Carboniferous	العصر الكربوني
Categorizing	تجميع
Cenozoic Era	حقب الحياة الحديثة

Cephalopoda	الرأسقدميات
Chenjiang Assemblage	صحبة شنج جيانج
Chondrichthyes	الأسماك الغضروفية
Chron	الأوان أو زمن النطاق
Chronocorrelation	المضاهاة الزمنية
Chronometer	مقياس الزمن
Chronostratigraphic Unit	وحدة طباقية زمنية
Chronostratigraphy	الطباقية الزمنية (تقسيم طبقات الأرض على أساس أعمارها الزمنية)
Chronozone	نطاق زمني
Circulation of Sea Water	دورة ماء المحيط
Clastic Ratio Map	خريطة النسب الفتاتية
Cline	برهة
Coal	فحم
Code	مجموعة قواعد أو رمز
Coquina Bed	طبقة الكوكينا
Composite Asseblage Zone	نطاق التجمع المركب
Composite Facies Sequence	تتابع سحنى مجمع
Compositional Map	خريطة المكونات
Composite Stratotype	القطاع النموذجي المركب
Concorodia Curve	منحنى الاتفاق
Conformable	متوافق
Conformity	توافق
Conceptual Units	وحدات معنوية
Concurrent Zone	نطاق المصاحبة في المدى
Conglomerate	الرصيص أو الرواهص
Continental Drift	الزحف القاري
Continental Rift Basins	أحواض الخسف القاري
Continental Rise	منحدر قاري
Continental Slope	مرتفع قاري

Controlling Points	نقط تحكم
Convential Map	خريطة السحنة التقليدية
Convergent	متقارب
Convergent Plate Boundary	حافة لوح متقارب
Convergent Margin Basin	أحواض الحواف المتقاربة
Cosmic Impact	الارتطام الكوني
Craton	راسخ
Cratonic Basins	الأحواض المجنية أو أحواض الراسخات
Crinoids	زنابق البحر
Correlation	مضاهاة
Criteria	شواهد
Cross-Bedding	تطبق متقاطع
Cross-Cutting Relationships	علاقات القطع
Cross Stratification	تطبق متقاطع
Cryptozoic Eon	زمان الحياة الخفية
Cyanognathus	زاحف سيانوجناش
Cycads	السراخس
Cyclic Sedimentation	ترسيب دوري أو متوالي
Cyclic Uniformitarianism	دورية الوتيرة الواحدة
Cyclothem	متوالية مثل المتوالية الرسوبية

D

Daily Layers	حلقات نمو يومية
Datum Surface	سطح مرجعي
Daughter Products	نواتج وليدة
Decay Constant	ثابت التحلل
Dendrochronology	تقدير أعمار الأشجار
Deep Sea Drilling Project (DSDP)	مشروع الحفر في أعالي البحار
Depositional Sequence	تتابع رسوبي
Devonian	العصر الديفوني

Diachron	وحدة مختلف العمر أو متعدد الأوان
Diachronic	متعدد الأزمنة
Diastem	عدم التوافق اللطيف
Diastrophism	حركات التشوه الأرضي
Diatom	المشطورات أو الدياتومات
Dinoflagellates	السوطيات
Discontinuity	عدم الاستمرارية
Discordant	متنالف
Discordia Line	خط عدم التوافق
Dissolution	ذوبان
Distilling Local Details	تنقية التفاصيل المحلية
Divergent	متباعد
Divergent Plate Boundary	حافة لوح متباعد
Divergent Margin Basins	أحواض الحواف المتباعدة
Diversity	تنوع

E

Ediacara	إدياكارا
Ediacara Fauna	كائنات الإدياكارا
Ediacarian	زمن الإدياكاري
Early Paleozoic	الجزء المبكر من حقب الحياة القديمة
East African Rift	خسف شرق أفريقيا
Echinoderms	قنافذ البحر
Electric Logs	سجلات كهربية
Endemic Fauna	كائنات أسيرة
Environmental Stratigraphy	الطباقية البيئية
Eolian	هوائي
Eonothem	صخر الزمان
Epicontinental Seas	البحار القارية
Episode	فترة

Epoch	عهد أو حين
Era	حقب
Erathem	صخر الحقب
Erosional Surface	سطح تحات
Eugeocline	المنحدر القاري المرتفع
Eugeosyncline	القعيرة العظمى
European Arenaceous Facies	السحنة الأوروبية الرملية

F

Facies	السحنة
Facies association	الصحبة السحنية
Facies fossils	حفريات السحنة
Facies maps	خرائط السحنات
Facies model	النموذج السحني
Facies scheme	مخطط سحني
Faunal provinces	أقاليم الكائنات
Faunal provincialism	إقليمية الكائنات
Faunal succession	تعاقب الكائنات
First appearance datum FAD	مرجع أول أو أدنى ظهور
Flames of mud	ألسنة الطين
Flute casts	طوابع الأبواق
Flysh	رواسب الفلش أو رواسب العكر
Forearc basin	حوض مؤخرة القوس
Formal unit	وحدات رسمية
Formation	التكوين
Fossil content	المحتوى الأحفوري
Fossil succession	التعاقب الأحفوري

G

Geochronometric Units	وحدات قياس عمر الأرض
Geocline	القعيرة العظمى

Geologic Record	السجل الأرضي
Geologic Cycle	الدورة الأرضية
Geologic Time Scale	مقياس الزمن الأرضي
Geology	علم الأرض
Geosyncline	القعيرة العظمى
Global	عالمي
Golden Spik	علامة الحد
Gollosopteris	نبات الجلسوبتيرز
Gondwana	جوندوانا
Gondwana Formations	تكوينات جندوانا
Gothlandian	جوتلاندي
GPSSP	نموذج ونقطة الحد الطباقي العالمي
Gradational	تدرجي
Graphic Correlation Technique	تقانة المضاهاة البيانية
Graded Bedding	التطبق المتدرج
Gradualism	إنتقال متدرج بين الأنواع
Graptolites	الخطيات
Graptolite Facies	سحنة الخطيات
Geat Albine Tectonic	حركات بناء جبال الألب الكبرى
Great Bahama Bank	جرف الباهاما الأعظم
Great Ice Age	زمن الجليد الأعظم
Grove Casts	طوابع الحفر أو التخطط
Group	مجموعة
Guide	المرشد

H

Hadal	مظلم
Hadean Eon	الزمان الغابر
Halh Life Time	زمن نصف العمر
Hiatus	الزمن المفقود

Heteromorph	متغير الشكل
Historical Geology	علم الأرض التأريخي أو تاريخ الأرض
Historical Uncertainties	شكوك تاريخية
Holostratotype	النموذج الأصل أو المثالي
Hot Spots	القطع الساخنة
Hydrologic Cycle	الدورة المائية
Hydrophone	سماعة مائية
Hypostratotype	النموذج البعيد

I

Iapetus	إيابتس، جد المحيد الأطلسي
Ice Age Cycles	دورات العصر الجليدي
ICS	لجنة الطباقية العالمية
Inclusions	مكتنفات
Index Fossils	أحافير مرشدة
Informal Units	وحدات غير رسمية
Initial Horizontality	أفقية التوضع الابتدائية
Intercalated	متداخل
International Stratigraphic Guide	المرشد الطباقي العالمي
International Startotype Guide	مرشد القطاع النموذجي العالمي
Interpretive Stratigraphy	الطباقية المفسرة
Interatonguing	التداخل أو التلسن
Island Arcs	أقواس الجزر
Isochron	مجسم العمر الواحد
Isochronus	المساواة الزمنية
Isolith Map	خريطة سمك نوع واحد من الصخور
Isotopes	النظائر
ISSC	اللجنة الفرعية الدولية للتقسيم الطباقي
IUGS	الاتحاد العالمي لعلوم الأرض

J

Jovian Plantes	الكواكب الغازية أو الخارجية

K

Kalhari's Sequence	تتابع كالهاري
Karro Sequence	تتابع كارو
Key Bed	الطبقة الدليل أو الطبقة المفتاح

L

Lacuna	فجوة في السجل الترسيبي
Late Paleozoic	القسم المتأخر من حقب الحياة القديمة
Last Appearance Datum (LAD)	مرجع اخر أو أقصى ظهور
Lateral Continuity	الاستمرارية الجانبية
Laurasia	لوراسيا (أصل قارتى أوروبا وآسيا)
Lava Flow	فيوض بركانية
Layers	طبقات
Lectostrastotype	النموذج اللاحق
Lentil	عدسة
Lipalian Interval	فترة الليبالي
Lichenometry	القياس بواسطة الأشنات
Limestone	حجر جيري
Lithodem	الوحدة للصخور المتبلرة
Lithodemic Units	وحدات الصخور المتبلرة
Lithofacies	سحنة صخرية
Lithofacies Analysis	تحليل السحنات الصخرية
Littoral	شاطئي
Lithology	علم الأحجار
Lithosome	جسم صخري
Load Casts	طوابع الثقل
Local	محلي
Local Unconformity	عدم توافق محلي
Loess	التربة الطفالية

Log	سجل
Long Term	طويل الأجل
Lower	سفلي
Lystrosurs	زاحف ليستروصورس

M

Magnetic Tape	قرص ممغنط
Magnetopolarity	قطبية مغناطيسية
Magnetostratigraphy	الطباقية المغناطيسية
Mantel Plume	بقع الوشاح النشطة
Mappable	قابل للترسيم أو للتخريط
Mapping	الترسيم أو التخريط
Mammal-Like Reptiles	زواحف بدائية تشبه الثدييات
Marker Pens	أقلام معلمة
Maria	بحار القمر
Marsupials	الحيوانات الكيسية
Mass Extinction	هلاك جماعي
Mesothem	متواليات قصيرة الأمد
Mesozoic	حقب الحياة المتوسطة
Messinian	زمن المسيني
Messinian Salinity Crisis	نكسة ملوحة المسيني
Metasediments	رواسب متحولة
Metavolcanics	بركانيات متحولة
Mid Oceanic Ridge	حَيْد أو حافة وسط المحيط
Milankovich Theory	نظرية ملانكوفتش
Milankovich Cycle	دورة ملانكوفتش
Mineralogic Facies	السحنة المعدنية
Miocene	عهد الميوسين
Miogeocyncline	القعيرة العظمى
Mississippian Period	العصر المسيسيبي

Mixed	مختلط
Molasse	رواسب القار
Mollusks	رخويات
Monotremes	رواسب بيّاضة
Mountains	جبال
Mud Cracks	الشقوق الطينية
Mud Flames	ألهِبَة الطين

N

NACSN	لجنة التسمية الطباقية لأمريكا الشمالية
Nebular Hypothesis	الفرض السديمي
Neogene	زمن النيوجين
Neostratotype	النموذج الجديد أو البديل
Neptunism	الفرضية المائية
Neptunists	أصحاب مبدأ الخلق من المحيط
Neroitic Fauna	كائنات منقولة
Nonconformity	عدم توافق النقيض
Nondeposition	عدم الترسيب
Norm	قياسي
Normal Graded Bedding	تطبق متدرج عادي
Normal Polarity	قطبية عادية
Nubian Sandstone	الحجر الرملي النوبي
Nuclear Fusion	الاندماج النووي
Nummulitic Age	العصر النميوليتي

O

Oceanic Margin Basins	أحواض حافة المحيط
Oceanic Plate	لوح محيطي
Offlap	تراجع البحر
Oil Show	آثار الزيت
Onlap	تقدم البحر

Oppel Assemblage Zone	نطاق تجمع أبل
Ordovician Period	عصر الأوردوفيشي
Oriented Sample	عينة محدد إتجاهها
Orogene	حركة تجبلية
Osteichthyes	أسماك عظمية

P

Paleogeographic Synthesis	تحليل الجغرافيا القديمة
Paleobiogeography	علم الجغرافيا الحياتية القديم
Paleoclimatology	علم المناخ القديم
Paleocene	عهد الباليوسين
Paleogene	زمن الباليوجين
Paleomagnetism	المغناطيسية القديمة
Paleozoic Era	حقب الحياة القديمة
Paleosoil	التربة القديمة
Panademic	عالمي الانتشار
Pangaea	بانجيا أو كل اليابسة
Paraconformity	شبه توافق
Parastratigraphic Units	وحدات شبه طباقية
Parastratotype	النموذج المساعد
Parent Isotopes	النظائر الأبوية
Partial Range Zone	نطاق المدى الجزئي
Passive Continental Margin	الحافة القارية الآمنة
Pelagic Environment	بيئة لجية
Pelecypoda	المحاريات
Pensylvanian Period	عصر البنسلفاني
Percentage Map	خريطة النسب المئوية
Period	عصر
Peripheral Basins	الأحواض الحافية
Permian Period	عصر البرمي

Permo-Triassic	البرمو -ترياسي
Phanerozoic Eon	زمان الحياة الظاهرة
Phaze	طور
Planktons	العوالق أو الهائمات
Plate Tectonic Theory	نظرية الألواح الحركية
Pleistocene	عهد البليستوسين
Pliocene	عهد البليوسين
Plutonists	الباطنيون (أصحاب فكرة الخلق من جوف الأرض)
Polarity	القطبية
Polar Wandering	هجرة أو تجوال القطب
Polarity Chronostratigraphy	طباقية الزمنية القطبية
Polarity Chronozone	نطاق أوان أو زمن القطبية
Polarity Superzone	فوق نطاق القطبية
Polarity Zone	نطاق القطبية
Postdate	بعد أو تأخر زمني
Precambrian	ما قبل الكمبري
Predate	يسبق زمنيا
Primary Sedimentary Structures	البنيات الرسوبية الأولية
Primary Series	نسق الصخور الأولية
Project	مشروع
Proper Reef	جسم الشعاب
Prostratigraphy	الطباقية الأولية
Proterozoic Eon	زمان طلائع الأحياء
Proterozoic Eonothem	صخر طلائع الأحياء
Protoplanets	الكواكب الابتدائية
Provinsialism of Fauna	إقليمية الكائنات
Puncuated Equilibrium	التطور في قفزات سريعة
Pyroclastic Deposits	رواسب الفتات البركاني

Q

Quantitative Correlation	المضاهاة الكمية
Quaternary	العصر الرابعي

R

Radioactive Decay	التحلل الإشعاعي
Radioactive Isotopes	النظائر المشعة
Radogenic Lead	رصاص وليد عملية الإشعاع
Radolaria	الشعاعيات
Ratio Maps	خرائط النسبة والتناسب
Redefinition	إعادة تعريف
Red Sea	البحر الأحمر
Reef	شعاب
Reflection Configuration	شكل الانعكاس
Reflection Continuity	استمرارية الانعكاس
Reflector	عاكس
Refractive Method	الطريقة الانكسارية
Regional Metamorphism	التحول الإقليمي
Regional Unconformity	عدم توافق إقليمي
Regression	تراجع
Relative Dating	التأريخ النسبي
Relative Time Scale	مقياس الزمن النسبي
Resistivity	مقاومة
Reversed Polarity	قطبية منعكسة
Revision	مراجعة
Reworked Assemblage	التجمع المنقول
Rigid	صلب
Ripple Marks	علامات النيم
Ripple Mark Casts	طوابع علامات النيم
Rock Accumulation	التجمع الصخري
Rock Compositional Maps	خرائط مكونات الصخر

Rock Cycle	دورة الصخر

S

Sag Basins	الأحواض المقوسة
Salt Diapirs	مخترقات ملحية
Sandstone	حجر رملي
Scleratinians	المرجان الصلب (السداسي)
Sea Floor Spreading	إنتشار قاع البحر
Sea Level	مستوى سطح البحر
Secondary Rocks	الصخور الثانوية
Second-Order Cycles	دورات الرتبة الثانية
Sedimentary Facies	سحنة رسوبية
Sedimentary Prism	منشور رسوبي
Sedimentary Rocks	الصخور الرسوبية
Seismic Facies	السحنة الزلزالية
Seismic Sequence Analysis	تحليل المتوالية الزلزالية
Seismic Stratigraphy	الطبقة الزلزالية
Seismogram	سجل زلزالي
Series	نسق
Shale	طفلة
Shelf	رصيف البحر
Shelly Facies	سحنة صدفية
Shield	درع
Shot Points	مواقع التفجير
Silurian	العصر السيلوري
Single Component Map	خريطة سماكة نوع واحد من الصخور
Slumps	إنهيارات
Solar System	النظام الشمسي
Sole Structures	بنيات القاع
Span	لحظة

Sponges	الإسفنجيات
Spontaneous Potential (SP)	الجهد الذاتي
Spreading Center	مركز إنتشار
Spreading Ridge	حيد الإتساع
Stage	مرحلة
Stratification	تطبق
Stratified Mountains	الجبال المتطبقة
Stratigraphic Boundaries	حدود طباقية
Stratigraphic Break	إنقطاع طباقي
Stratigraphic Cross Section	مقطع طباقي
Stratigraphic Classification	التصنيف الطباقي
Stratigraphic Cycle	دورة طباقية
Stratigraphic Discontinuity	عدم إستمرارية طباقية
Stratigraphic Geology	علم الأرض الطباقي
Stratigraphic Interval	الفترة الطباقية
Stratigraphic Maps	خرائط طباقية
Stratigraphic Paleontology	علم الأحافير الطباقي
Stratigraphic Record	السجل الطباقي
Stratigraphic Succession	تعاقب طباقي
Stratigraphic Uncertainties	الشكوك الطباقية
Stratigraphy	دراسة طبقات الأرض (علم الطباقية)
Stratotype	النموذج
Stratotype Section	مقطع نموذجي
Stratum	طبقة
Structure	بنية
Structure Contour Map	خريطة منسوب البنية
Subbiozone	تحت نطاق حياتي
Subduction Zone	نطاق السحج أو نطاق الغوص أو نطاق الاندساس أو نطاق الانضواء
Sublittoral	قرب شاطئي

Subperiod	تحت عصر
Substage	تحت مرحلة
Subsurface	تحت السطح
Subsynthem	تحت وحدة الطباقية المحصورة بين عدم توافق
Subsystem	تحت نظام
Subzone	تحت نطاق
Succession	تعاقب
Suite	نسق
Supercontinental Cycle	دورة القارة العظمى
Supergroup	فوق مجموعة
Superposition	مبدأ التعاقب
Supersuite	فوق نسق
Supersynthem	فوق وحدة الطباقية المحصورة بين عدم توافق
Supersystem	فوق نظام
Superzone	فوق نطاق
Surface	سطح
Synchronus	معاصرة
Synthem	الوحدة الرئيسية للطباقية المحصورة بعدم توافق
System	نظام

T

Tabulata	المرجان الصفائحي
Taconic Orogeny	حركة التجبل التاكونية
Tectofacies	السحنة الحركية
Tectonic Unrest	عدم إستقرار حركي
Tephra Layers	طبقات الرماد البركاني
Terrestrial Planets	الكواكب الأرضية
Tertiary	العصر الثالثي
Tertiary Series	النسق الثالثي
Tethyan Province	إقليم التيثس

Tethys	التيثس
Theic Ocean	محيط التيثس
Three Component Facies Maps	خرائط السحنات لثلاث مكونات
Time Line	خط الزمن
Tommotian Stage	مرحلة التموتي
Tongue	لسان
Topography	تضاريس
Total Range Zone	نطاق المدى الكلي
Tracks	مسارات
Transform	إنتقال
Transform Plate Boundary	حافة لوح منزلق
Transgression	تقدم
Transition Series	نسق إنتقالي
Trench	غور
Trilobites	ثلاثيات الفصوص
Triple-Point Junction	نقط إتصال ثلاثية
Turbidites	رواسب العكر
Truncated Strata	طبقات مقطوعة
Type Locality	المنطقة النوعية أو منطقة النموذج
Type Section	القطاع النوعي

U

Unconformable	غير متوافق
Unconformity-Bounded Units	الوحدات المحددة بأسطح عدم توافق
Ungulata	الثدييات ذات الحوافر
Unidirectional	مضطرد في إتجاه واحد
Uniform Rate	معدل متماثل
Uniformitarianism	مبدأ الوتيرة الواحدة
Uniformity	التوحد
Universe	عالم

Undisturb Bed	خال من الاضطراب
Unoxic Bottom Environment	بيئة قاعية مختزلة
Uplift	رفع
Upper	علوي

V

Vail Curve	منحنى فيل "لمستوى سطح البحر"
Vascular Plants	النباتات الوعائية
Vertical Animal Burrows	الحفر الرأسية بواسطة عدد من الحيوانات
Vertical Variabiliy Map	خريطة الاختلافات الرأسية
Volcanic Facies	سحنة بركانية
Volcanists	الناريون (أصحاب مبدأ الخلق من النار)

W

Well Logging	التسجيل البئري

X

Xenolith	جسم غريب

Z

Zoogeographic Province	إقليم جغرافي حياتي

المـراجع العربية والأجنبية

أولاً: **المراجع العربيـة**

- **جيولوجية الدرع العربي**، أحمد محمود سليمان الشنطي (١٤١٣هـ ١٩٩٣م)، مركز النشر العلمـي - جامعة الملك عبدالعزيز - جدة - **المملكة العربيـة السعودية، ١٩٦ صفحة.**

- **صور من حياة ماقبل التاريخ** ، زغلول راغب النجار، وأحمـد محمـد داؤود(١٩٧٩م)، دار البحـوث العلمية.

- **إسهام علماء المسلمين الأوائل في تطور علوم الأرض**، زغلول راغب النجار (١٤٠٩هـ)، مكتبـة التربية العربي لدول الخليج.

- **علم الطبقات**، سعيد على غنيمة ومحمد عبدالقادر البخاري ، الطبعة الأولى.

- **علم المستحاثات**، فؤاد العجل ديوان المطبوعات الجامعية - الساحة المركزية - بن عكنون الجزائر.

- **تطبيقات في الجيولوجيا العامة، معادن صخور - أحافير - خرائط**، محمد عبدالغني مشرف، الطـاهر عثمان ادريس ، حسين سالم عوض. دار المريخ - ١٠٧٢٠ الرياض ١٤٤٣ - **المملكة العربية** السعودية، ٦٤٩ صفحة.

- **أسس علم الرسوبيات**، محمد عبدالغني مشرف (١٤٠٧هـ ، ١٩٨٧م)، عمـادة شـؤون المكتبـات - جامعة الملك سعود ص.ب. ٢٢٤٨٠ - الرياض - المملكة العربية السعودية، ٦٣٦ صفحة.

- **محاضرات عامة في الجيولوجيا** ، محمد فتحي عوض الله (١٩٨١م)، دار المعارف - القاهرة.

- **أساسيات علم الجيولوجيا** محمد يوسف حسن، عمر حسين شريف، عدنـان بـاقر النقـاش (١٩٩٠م)، مركز الكتب الأردني، ٥٥٢ صفحة.

- **ما أصل الإنسان**، موريس بوكاي، إجابات العلم والكتب المقدسة، الطبعة الثالثة عشر ١٩٨٥م ، ترجمـة مكتب التربية لدول الخليج.

- **علم الأرض**، ترجمة فارس لطفي الخوري (١٩٨٧م)، تأليف سمث، دار الشؤون الثقافية .

- **مقدمة في الجيولوجيا الطبيعية والتاريخية**، حسني حمـدان حمامـة، جامعـة المنصـورة (ج.م.ع.) ١٤١٨هـ - ١٩٩٧م، ١٥٦ صفحة.

- **الظواهر الجغرافية بين الآيات القرآنية والنظريات العلمية**، حسني حمدان حمامة - بحث مقـدم لنيـل جائزة الإعجاز العلمي في القرآن الكريم، جمعية الإعجاز العلمـي للقـرآن الكريـم (ج.م.ع.)، ١٤١٩هـ - ١٩٩٨م، ٩٠ صفحة.

ثانياً: **المراجعالأجنبيـــة**

References :

Abed, M.M. H.H. Hamama, and R. Abu Zaid, 1992. Some Triassic Cephalopods from Arief El Naqa Formation, Sinai, Egypt. *Bull., Fac. Sci., Mansoura Univ. Vol. 19(2)*. PP. 115-148.

Agassiz, L. 1967. *Studies on glaciers*. Ed. and trans. by A. V. Carozii. New York: Hafner.

Ager, D. v. 1981. *The nature of the stratigraphical record. 2nd ed.* New York: John Wiley & Sons, 122 P.

Aguirre, E., 1981,*Correlation of Neogene-Quaternary boundary in continental formations, in Abstracts, International Field Conference-Neogene/Quaternary Boundary*, Tucson, Arizona, p.p. 1-12.

Alvarez, L. W., Alvarez, F. Asaro, and H. V. Michel. 1980. Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction. *Science* 208 (4448): 1095-1108.

American Commission on Stratigraphic Nomenclature (ACSN), 1957, *Nature and nomenclature of biostratigraphic units, Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull.* 41: 1877-1891.

American Commission on Stratigraphic Nomenclature, 1961, *Code of Stratigraphic nomenclature, Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull.* 45: 645-665.

American Commission on Stratigraphic Nomenclature (ACSN), 1970, *Code of Stratigraphic nomenclature*, American Association of Petroleum Geologists, Tulsa Oklahoma [Originally published in 1961, *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull.* 45: 645-665; amendments published in the *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 1962, 46: 1935;1964, 48:710-711;1966,50:560-561;1967,51:1868-1969,53:2005-2006].

Ayyad S. N. and Hamama, H. H. 1989. Biostratigraphy of the Upper Cretaceous-Lower Tertiary succession in Gebel Mokattab, southwestern Sinai. *Proc. 2nd Conf. Geol. Sinai. Develop., Ismailia, 1989*, PP. 49-58.

Bakker, R. T. 1986. *The dinosaur heresies.* New York: William Morrow Co.

Bally, A. W., ed., 1987, *Atlas of Seismic Stratigraphy*, AAPG Studies in Geology Series 27 vol. 1, *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, Tulsa, Oklahoma.

Bambach, R. K., C. R. Scotese, and A. M. Ziegler. 1980. Before Pangea: The geographies of the Paleozoic world. *American Scientific* 68(1): 26-38.

Bargoorn, E. S. 1971. *The oldest fossil. Scientific American* 231(5): 30-42 cloud, P. E. 1987. *Oasis in Spaces: Earth history from the beginning.* New York: W. W. Norton & Co.

Ben-Avriham, Zvi. 1981. The movement of continents. *American Scientist* 69(3): 291-300.

Bengston, P., 1981, *Formal and informal stratigraphical names*, Geologiska Föreningens I Stockholm Förhandlingar 103:32.

Benson, R. H., 1984, *Perfection, continuity, and common sense in historical geology, in Catastrophes and Earth History: The New Uniformitarianism,* W. A. Berggren and J. A.van Couvering, eds., Princeton University Press, Princeton, New Jersey. PP. 35-75.

Benton, M. 1992. *Dinosaurs living monsters of the past*. Copyright © 1993 by Tiger Books International PLC, London, PP. 64.

Berggren, W. A., 1972, *A Cenozoic time-scale-some implications for regional geology and paleobiogeography*, Lethaia 5: 195-215.

Berggren, W. A., and J. A. van Couvering, 1978. *Biochronology, in Contributions to the Geologic Time Scale, G. V. Cohee, M. f. Glasessner, and H. d. Hedberg, (eds),* Am. Ass. of Petroleum Geologists, Tulsa, Oklahoma, pp. 39-55.

Berggren, W. A., D. V. Kent, J.J. Flynn, and J. A. van Couvering, 1985. *Cenozoic geochronology*, Geol. Soc. Amer. Bull. 96:1407-1418.

Berry, W. B. N., 1968. *Growth of a Prehistoric Time Scale*, W. H. Freeman, San Francisco, 158 P.

Blatt, H. 1992. *Sedimentary Petrology. 2nd ed.* New York: W. H. Freeman and Comapany, 564 P.

Boggs, S., Jr. 1987. *Principles of sedimentology and stratigraphy*, *1st ed.*, Macmillan Publishing Company, New York, PP. 784.

Boggs, S., Jr. 1995. *Principles of sedimentology and stratigraphy*, *2nd ed.*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersy; 774.

Boucot, A. J. 1984 b. Ecostratigraphy, in Stratigrasphy Qua Vadis? E. Seibold and J. D., Meulenkamp, eds., *American Association of Petroleum Geologists*, Tulsa, Oklahoma, pp. 55-60.

Briggs, D. E. G., and H. B. Whittington. 1985. Terror of trilobites. *Natural History* 94(12): 34-40.

Buckman, S. S. 1902. The term "hemera" *Geol. Mag.* 9: 554-557.

Busbey III, A. B., R. R. Coenraads, P. W. Willis and D. Roots. 1996. Rocks and Fossils, The Nature Company Guides Time-Life Books.

Callomon, J. H., and D. T. Donovan, 1966, Stratigraphic classification and terminology. *Geol. Mag.* 103: 97-99.

Chamberlin, T. C. 1909. Diastrophism as the ultimate basis of correlation, *Jour. Geol. 17: 685-693.*

Cloud, P. E., Jr., and M. F. Glaessner. 1982. The Ediacarian Period and System : Metazoa Inherit the Earth. *Science* 217 (4562) : 783-92.

Colbert, E.H. 1973. *Wandering lands and animals* : E. P. Dutton, New York, 323 P.

Conkin, B. M. and J. E. Conkin, (eds), 1984. *Stratigraphy: Foundations and Concepts.* Benchmark Papers in Geology, Van Nostrand Reinold, New York.

Conway Morris, S. 1989. Burgess Shale faunas and the Cambrian explosion. *Science* 246-339-46.

Conway Morris, Simon and H. B. Whittington, 1979. The animals of the Burgess Shale. *Scientific American* 241(1) : 122-35.

Conybeare, C. E. b., 1979. *Lithostratiraphic Anlaysis of Sedimentary Basins.* Academic Press, New York.

Cooper, J.D., Miller, R. H. and Patterson, J., 1990. *A Trip Through Time 2nd ed.* Merrill Publishing Company, 544 P.

Cowie, J. W. 1986. *Guidelines for boundary stratotypes. Episodes 9:78-82.*

Cox, A. (ed.), 1973. Plate tectonics and geomagnetic reversals. New York, W. H. Freeman.

Dienes, I., 1983. *Experience with comparison of different geological clocks, Acta Geologica Hungarica* 26:187-195.

Dietz, R.S., and J.C. Holden. 1970. The breakup of Pangaea. *Scientific American* Offprint No. 892. San Francisco: W. H. Freeman.

Donovan, D. T., 1966. *Stratigraphy: An Introduction to Principles.* Rand McNally, Chicago; Thomas Murby, London. 199 P.

Dovona, S. K., 1989. Mas extinction : Processes and evidences. Columbia University Press, New York, 266 P.

Drooger, C. W., 1974. *The boundaries and Limits of Stratigraphy.* Koninkl, Nederl, Akad. Wetensch. Proc. B. 77:159-167.

Dunbar, C. O., and J. Rodgers, 1957. *Principles of Stratigraphy.* Wiley, New York. 356 P.

Edwards, L. E., 1982. Quantitative biostratigraphy : The methods should suit the data in quantitative stratigraphic correlation, J. M. Cubitt and R. A. Reyment, eds. Wiley, Chiohester. England, PP. 45-60.

Eiseley, Loren. 1969. *Charles Lyell. Scientific American* Offprint No. 846. San Francisco: W. H. Freeman.

Fairbridge, R. W. and Jablonski, D. eds 1979. *The Encyclopedia of Paleontology.* Dowden, Hutchin Son & Ross, Inc.

Faure, G., 1977. *Principles of Isotope Geology.* Wiley, New York, 464 P.

Flint, R. E. 1971. *Glacial and Quaternary geology.* New York. John Wiley & Sons, 892 P.

Flügel, E. 1982. *Microfacies Analysis of Limestone.* New York. Springer-Verlag.

Fritz, W. J. and J. N. Moore, 1988. *Basics of Physical Stratigraphy and Sedimentology.* Wiley, New York.

Gould, Stephen. Jay. 1987. *Time's arrow time's cycles: Myth and metaphor in the discovery of geologic time.* Cambridge MA: Harvard Univ. Press.

Grabau, A. W., 1913, *Principles of Stratigraphy.* A.G. Seiler, New York, 1185 P.

Hallam, a. 1972. Continental drift and the fossil record. Scientific Amerian 227(5): 56-66.

Hallam, A., (ed.) 1973b. *Atlas of Palaeobiogeography.* Elsevier Scientific Publishing Company, 531 P.

Hallam, A., 1981. *Facies Interpretation and the Stratigraphic Record.* W. H. Freeman, San Fransisco, 291 P.

Hamama, H. H. 1985. Systematic and phylogeny of Aptian ammonites of Northern Caucasus (Deshaesitidaceae, Paradoplitaceae and Douvillerceratacea) Ph. D. Thesis. *Moscow State Univ.(In Russian).*, 220 P.

Hamama, H. H. 1990. Remarks on the internal structure and growth stages of some Cretaceous ammonites. *Fac. Sci., Mansoura Univ. Vol. 17(1), PP. 695-739.*

Hamama, H. H. 1990. Stratigraphy and macropaleontological aspects of the Neogene section at Gabal Abu Shaar El Qibli, Esh El Mallaha, Red Sea, Egypt. *Fac. Sci., Mansoura Univ. Vol. 17(1), PP. 741-783.*

Hamama, H. H. 1992. Aptian and Albian corals (Scleractinia) of the Northern Sinai, Egypt. *Bull. Fac. Sci., Mansoura Univ. Vol. 19(2), PP. 87-114.*

Hamama, H. H. 1993. Albian ammonites of Northern Sinai, Egypt. *Bull. Fac. Sci., Mansoura Univ. Vol. 20(2), PP. 261-301.*

Hamama, H. H., 1995. The Theory of Plate Tectonics between Since and Holy Quran. International Conference on Science in Islamic Polity in the Twenty-First Century, Islamabad, March 1995.

Hamama, H. H. and Kassab, A. S. 1990. Upper Cretaceous ammonites of Duwi Formation in Gabal Abu Had and Wadi Hamama, Eastern Desert, Egypt. *Jour. of African Earth Science Vol. 10 No. 3 pp. 453-464.*

Hanna, S. S. 1995. *Field Guide to the Geology of Oman. Vol. 1.* The Historical Association of Oman.

Harber, C. W., Tr. 1981. Inferring succession of fossils in time : The need for a quantitative and statistical approach, *Jour. Paleontol.* 55 : P. 442-452.

Harbough, J. W. 1968. *Stratigaphy and Geologic time.* Foundation of the Earth Science Series. Dubuque, IA: William C. Brown Co. PP. 113.

Haris, E. C., 1979, *Principles of Archaeological Stratigraphy,* Academic Press, London.

Harper, C. T., ed. 1973. *Geochronlogy: Radiometric dating of rocks and minerals.* Stroudsburg, PA: Dowden, Hautchinson and Ross.

Hedberg, H. D., ed., 1976. *International Stratigraphic Guide,* by the International Subcommision on Stratigraphic Classification. Wiley, New York.

Hegab, O., Hamama, H.H. and Atia, N. A. 1989. Stratigraphy facies and environment of the Lower Cretaceous of Gabal Um Mitmam, Maghara area, *North Sinai. Proc. 2nd. Conf. Geol. Sinai Develop,* Ismailia, 1989, PP. 103-109.

Holland, C. H., ed. 1981. *Lower Paleozoic of the Middle East, Eastern and southern Africa and Antarctica with essays on Lower Palaeozoic trace fossils of Africa and Lower Palaeozoic palaeoclimatology.* John wiley & Sons Ltd.

Holmes, A. 1965. *Principles of Physical Geology. 2nd ed.* Ronald Press.

House, M. R. 1985. A new approach to an absolute time scale from measurements of orbitial cycles and sedimentary microrhythms, *Nature,* 316 : 721-725.

Hsu, K. J. 1972. When the Mediterranean dried up. *Scientific American* Offprint No. 904. San Francisco: W. H. Freeman.

Hughes, N. F., D. B. william, J. L. Cutbill, W. B. Harland, 1968, Hierarchy in Stratigraphical nomenclature. *Geol. Mag. 105:79.*

Imbrie, J. and K. P. Imbrie 1976. Ice ages. Short Hills, NJ: Enlow publisher.

International Subcommision on Stratigraphic Classification (ISSC), 1976: See Hedberg, ed., 1976.

International Subcommision on Stratigraphic Terminology, 1964. *Definition of Geologic System.* H. D. Hedberg, ed., International Geological Congress, report of the twenty second session, India, 1964, New Delhi.

Kauffman, E. G. and Hazel, J. E. eds. 1977. *Concepts and Methods of Biostratigraphy.* Dowden, Hutchinson & Ross, Strouburg, Pa., 658 P.

King, P. B. 1977. *The evolution of North America* rev. ed. Princeton, NJ.: Princeton Univ. Press

Kora, M. and Hamama, H. 1987a. Biostratigraphy of the Cenomanian-Turonian succession of Gabal Gunna, Southeastern Sinai, Egypt. *Bull. Fac. Sci., Mansoura Univ. Vol. 14(2) PP. 289-301.*

Kora, M. and Hamama, H. 1987b. Biostratigraphy of the Coniasian-Santonian succession in Bir Safra Area, Southeastern Sinai, Egypt.*Fac. Sci., Mansoura Univ. Vol. 14(2) PP. 303-314.*

Kottlowski, F. E., 1965. *Measuring Stratigraphic Sections.* Holt, Rienehart and Winston, New York.

Krumbein, W. C. and Sloss, L. L. 1963. *Stratigraphy and Sedimentation. 2nd ed.* W. H. Freeman. San Francisco, 660 P.

Kummel, B. 1961. *History of the earth : an introduction to historical geology.* San Francisco and London. W. H. Freeman and Company.

Lãporte, Léo. 1979. *Ancient environments. 2d ed.* Englewood Cliffs, N. J. Prentice-Hãll.

Laporte, L. F., 1969. "Recognitron of a Transgressive Carbonate Sequence within an Epeiric Sea : Heldberg Group (Lower Devonian) of New York State". *Soc. Econ. Paleont. Mineral. Spec. Publ.* PP. 98-119.

Lemon, Roy R. 1993. *Vanished Worlds: an introduction to historical geology.* Wm. C. Brown Publishers, 475 P.

Libby, W. F. 1952. *Radiocarbon Dating.* University of Chicago Press, Chicago.

Ludman Allan, 1993. *Laboratory Exercises in Physical Geology.* Wm. C. Brown Publisher, 228 P.

Martinsson, A., 1980a. *Echostratigraphy: Limits of applicability. Lethaia, 13:363.*

Matson, C. L. 1976. *North American and the great ice age.* New York McGraw-Hill Book Co.

Matthews, R. K. 1984. *Dynamic Stratigraphy: an introduction to sedimentation and stratigraphy.* 2d ed. Englewood Cliffs: Prentice Hall, Englewood Cliffs, N. J.

McAlester, A.L. 1977. *The history of life. 2d ed.* Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall.

McDonald, J. R. 1978. *The fossil collectors's handbook, a paleontology field guide.* Englewood Cliffs, N. J. Prentice-Hall.

McKinney, M. L., 1986a. *Biostratigraphic gap analysis. Geology 14:36-38.*

McLaren, D. J., 1973. *The Silurian-Devonian boundary. Geol. Mag. 110:302-303.*

Miale, Andrew D. 1984. *Principles of Sedimentary Basin Analysis.* Springer-Verlag. New York, 490 P.

Middleton, G. V., 1973. Johannes Walther's law of correlation of facies, *Geol. Soc. Amer. Bull., 84: P. 979-988.*

Miller, F. X., 1977, The graphic correlation method in biostratigraphy, in E. G. Kauffman and J. E. Hazel, (eds.), Dowden, Hutchinson, and Ross, Stroudsburg, Pa., Concepts and Methods of Biostratigraphy. pp. 165-186.

Mintz, L. W. 1981. 3rd ed. *Historical Geology.* Merrill Publishing Company.

Mitchell, A. H. C., and H. G. Reeding (ed.) Sedimentary environment and facies, *2nd ed.*, Blackwel, PP. 471-519.

Mitchum, H. M., Jr., P. R. Vail and Thompson, III, 1977, The depositional sequence as a basic unit for stratigraphic analysis in C. E. Pyton (ed.). Seismic Stratigraphy Applications to hydrocarbon exploration : *Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem.* 26, P. 53-62.

Molnar, P. and Tapponier, P. 1977. The Collision between India and Eurasia. *Scientific Amerian.* Offprint No. 923. San Francisco: W. H. Freeman, PP. 30-41.

Montgomery, Carla W. 1993. *Physical Geology 3rd ed.*, Wm. C. Brown Publisher, 544P.

Moorbath, S. 1977. The oldest rocks and the growth of the continent. *Scientific American* Offprint No. 357. San Francisco, W. H. Freeman.

Nancy, R. D., Worsely, T. R. and Moody, J. B. 1988. The Supercontinetal Cycle, *Scientific American*, 259, PP. 72-79.

Newell, N. D. 1983. Crises in the Histroy of Life. *Scientific American* Offprint No. 901. San Francisco : W.H. Freeman.

North American Commission on Stratigraphic Nomenclature 1983, North American Stratigraphic Code : *AAPG Bulletin*, V. 67, No. 5, PP. 841-875.

Orbigny, A. 1842. Paléontologie Franciaise : Terrains Erétacés. P., T. 2, 456 P.

Ostrom, J. H. 1978. A new look at dinosaurs. *National Geographic* 154(2): 152-85.

Palmer, A. R. 1974. Search for the Cambrian world. *American Scientist* 62:216-25.

Pellant, C. 1992. *The Pocket Guide to Fossils.* Dragons World.

Petersen, M. S. and Rigby, J. K. 1994. *Interpreting earth history : A mannual in historical geology, 5th* ed. Wm. C. Brown Publishers, 216 P.

Plummer, Charles C. and McGeary, David. 1996. *Physical Geology 7th. ed.* Wm. C. Brown Publisher.

Rapp, G., Jr., and J. A. Gifford, eds., 1985. *Archaeological Geology,* Yale University Press, New Haven, Connecticut.

Raup, D.M., and J. J. Sepkoski, Jr. 1982. Mass extinctions in the marine fossil record. *Science* 215: 1500-04.

Reading, H. G. ed., 1986. *Sedimentary Environment and Facies,* 2nd ed. Blackwell Publications, Oxford, 569 P.

Rigby, J. R., and W. K. Hamblin, (eds). 1972. *Recognition of ancient sedimentary environments.* Society of Economic paleontologists and Mineralogists Special Publication No. 16, 340 P.

Robison, Teichert Eds. 1979. *Treatise on Invertebrate Paleontology (A) Introduction:* The Geological Society of America, Inc. and The University of Kansas.

Runcorn, R. K. 1966. Corals and paleontologic clocks. *Scientific American* Offprint No. 871 San Francisco: W. H. Freeman.

Runcorn, S. K., 1966. Corals Paleontological Clocks, *Scientific Amer. 215:26-33.*

Schenck, H. G., and S. W. Muler, 1941. Stratigraphic Terminology, *Geol. Soc. Amer. Bull. 52:1419-1426.*

Schindewolf, O. H., 1970a. Stratigraphical principles, Newsl, Stratig. 1:17-24.

Schoch, R. M., 1982. Gaps in the fossil record: fossils and stratigraphy. *Nature 299:490.*

Schoch, R. M. 1989. *Stratigraphy: Principles and Methods.* New York: Van Nostrand Reinhold, 375 P.

Schopf, J. William, ed. 1983. *Earth's earliest biosphere:* Its origin *and evolution.* Princeton, NJ.: Princeton Univ. Press.

Selly, R. C. 1986. *Ancient sedimentary environments 3rd ed. Ithaca. NY.* Cornell Univ. press.

Shaw, B. R., 1982. A short note on the correlation of geologic sequences, in *Quantitative stratigraphic correlation,* J.M. Cubitt and R. A. Reyment, (eds.), John Wiley & Sons, New York, pp. 7-11.

Show, A. B., 1964. *Time in stratigraphy* : McGraw-Hill, New York, 365 P.

Silver, L. T., and P. Schulz, (eds.) 1982. *Geological interpretations of impacts of large asteroids and comets on the Earth.* Geological Society of America Special Paper 190.

Simpson, G. G. 1983. *Fossils and the history of life,* New York: Scientific American Books.

Spencer, E. W. 1962. *Basic Concepts of Historical Geology.* Oxford and IBH Publishing Co.

Stanley, S. M. 1984. Mass extinctions in the oceans. *Scientific American* 250(6): 64 -84.

Stanley, S. M., 1986. *Earth and Life through Time,* W. F. Freeman, New York.

Teichert, C., 1950. Zone concept in stratigraphy. *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull. 34:1585-1588.*

Thompson, G. R., Turk, J. and Levin, H. L.1995. *Earth Past and Present.* Saunders College Publishing.

Tucker, V. C. T. and Nield, E. W. 1985. *Palaeontoloty: an introduction.* Pergamon Press.

Vail, P. R., and R. M. Mitchum, Jr., 1977. Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level. Part 1: overview, in Seismic Stratigraphy- Applications to Hydrocarbon Exploration, C. E. Payton, ed., Memoir, 26, American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, Oklahoma, pp. 51-52.

Van der Voo, Rob. 1988. paleozoic paleogeography of North American, Gondwana, and intervening displaced terranes: Comparison of paleomagnetism with paleoclimatology and biogeographical patterns. *Geological Society of American Bulletin* Vol. 100 p.311-24.

Van Hinte, J. E., 1976a. A Jurrasic time scale. *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull.* 60 : 489 - 497.

Van Hinte, J. E., 1976b. A Cretaceous time scale. *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull.* 60 : 498 - 516.

Van Eysinga, F. W. B., 1978, *Geological Time Table, 3rd ed.,* Elsevier, Amesterdam.

Visher, G. S. 1984. *Exploration Stratigraphy.* PennWell, Tulsa, Oklahoma.

Walker, C. and Ward D. 1992. *Fossils.* Dorling Kindersley, New York, 320 P.

Walker, R. G., 1984b. General introduction: facies, facies sequences and facies models, in *facies models, 2nd ed.,* R. G. Walker, ed. Geoscience, Canada, Reprint Series 1, Geological Association of Canada, Toronto, Ontario, pp. 1-9.

Walter, M.R. 1977. Interpreting Stromatolites. *American Scientist* 65: 563-71.

Ward, Peter. 1983. The extinction of the ammonites. *Scientific American* 249(4): 136-47.

Wather, J., 1893-94. *Einleitung in die Geologie als historische Wissenschaft*, Verlay Von Gustav Fisher, Jena.

Wegner, A. 1924. The Origin of Continents and Oceans. London : Methuen.

Wehmiller, J. F. 1984. Relative and absolute dating of Quaternary mollusks with amino acid racemization: evaluation, applications and questions, in *Quaternary dating methods*, W. C. Mahaney, ed., Elsevier, Amestrdam, pp. 171-193.

Weller, J. M., 1960, *Stratigraphic Principles and Practice,* Harper, New York.

Whittington, H. B. 1985. *The Burgess Shale*. New Haven, CT: Yale Univ. Press.

Wiedmann, J., 1970. Problems of stratigraphic classification and the definition of stratigraphic boundaries, *Newsl, Stratigr. 1:35-48.*

Wilhelms, D. E. 1970. Summary of lunar stratigraphy, -telescopic observations, *U. S. Geol. Surv. Prof. Pap. 599-F:F1-F47.*

Wilhelms, D. E. 1987. The geologic history of the moon, *U. S. Geol. Surv. Prof. Pap.* 1348, Washington, D. C.

Wilson, J. T., (ed.). 1976. Continents adrift and continents aground, New York, W. H. Freeman.

مطابع الدوحة الحديثة المحدودة